

doi: 10.11720/wtyht.2020.0013

李忠平,戴广凯,张茂辉.DEM 网格间距对重力远区地改精度的影响及效果[J].物探与化探,2020,44(6):1399-1407.http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.0013

Li Z P, Dai G K, Zhang M H. The impact and effect of DEM grid spacing on the accuracy of gravity remote topographic correction[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(6): 1399-1407. http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.0013

DEM 网格间距对重力远区地改精度的影响及效果

李忠平^{1,2}, 戴广凯³, 张茂辉⁴

(1. 中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国冶金地质总局 山东正元地质勘查院, 山东 济南 250014; 3. 山东省地质调查院, 山东 济南 250013; 4. 中国海洋大学工程学院, 山东 青岛 266100)

摘要: 1:5万重力远区地改一般由测区的 1:5万 DEM 高程模型改正获得。1:5万 DEM 可按不同网格间距拼接而成,不同网格间距对应了不同的地改精度;RGIS 是由自带高程库参与计算,完成测区 1:5万重力远区地改。本文以山东省栖霞市臧家庄幅 1:5万重力远 I 区(2~20 km)地改为例,通过采用 25、50、100、200 m 四种网格节点距进行了 1:5万 DEM 数据拼接和改进的双线性插值法重力远 I 区地改、均方误差计算,并与 RGIS 自带高程库重力远 I 区地改均方误差比较分析,证实基于 1:5万 DEM 高程模型重力远 I 区地改精度优于 RGIS 自带高程库重力远 I 区地改精度。基于 DEM 改进的双线性插值法远区地改布格重力异常和高程相关度更高,对线性构造和地层、岩体的边界的识别精度高。

关键词: 重力远区地形改正;DEM 网格间距;地形改正精度;改进的双线性插值

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2020)06-1399-09

0 引言

1:5万重力远区地改原则上使用 1:5万卫星 DEM 数据(节点距 25 m),也可采用 RGIS 自带高程库进行远 I、II 区地改。由于 RGIS 自带高程库是基于“区域重力信息系统 2006”自带 1 km×1 km 节点高程,网格间距偏大^[1-3]。本次对山东省栖霞市臧家庄幅 1:5万重力观测数据采用以上两种网格节点的高程数据进行了远 I、II 区地改试验,以评价两种方法的合理性和可行性。

1:5万重力勘查跨越了不同的 DEM 数据图幅,要获取有重力勘查边界的 DEM 数据区域时,必须对多个图幅的 DEM 数据进行拼接。由于数据拼接时插值方法不同,其数据拼接精度不同。为满足重力远 I 区地改的需要,采用 Suffer8 双线性插值法快速进行 DEM 数据拼接,解决了该区地形高差较大时插值效果差等问题^[4-6],从而使高精度 GPS 因信号较

差而采集的个别低精度高程点对应地改误差减小^[7-9],同时使用 Suffer8 可更加方便地自定义不同的网格间距进行 DEM 数据拼接,以满足不同的探测需求,解决了地形对重力观测异常的影响^[10-12]。

试验使用 Suffer8 进行 DEM 数据网格拼接,然后用 GeoIPAS3.0 软件进行远 I 区地形改正时,由于 DEM 数据网格间距不同,1:5万重力远 I 区(2~20 km)地改的速度不同,网格间距大,地形改正效率高^[13-14],对应地改均方误差大。实际工作时,采用 RGIS 自带高程库进行 1:5万重力远 I、II 区地改速度快,760 个测点 1~2 min 即可完成。而采用 GeoIPAS3.0 软件进行远 I、II 区地改时 760 个测点一次完成要 40 h(网格间距 25 m),数据处理效率较低。网格间距成为制约地改效率和精度、地质解释效果的主要因素^[15-16]。为探索最佳网格间距,本文通过对山东省栖霞市臧家庄幅 1:5万重力远 I 区地形改正数据分析,采用 25、50、100、200 m 四种网格节点距进行了 1:5万 DEM 数据拼接和对应重力远

收稿日期: 2020-01-15; 修回日期: 2020-05-08

基金项目: 中国地质调查局地质矿产调查专项(FZK2016-4-166)

作者简介: 李忠平(1985-),男,硕士,高级工程师,从事矿产物探生产研究工作。Email: xjywt@163.com

I 区地改、均方误差计算。将 1:5 万卫星 DEM 数据节点距扩大一倍,即用 50 m 的网格距拼接,能较好满足地形改正效率与精度的要求,缩短了 1:5 万重力远区地形改正时间,提高了资料整理效率,更有利于推断解释工作^[17-19]。

将重力勘查数据与地质、遥感资料综合是发现深部隐伏断裂的重要手段^[20]。而远区地改精度在重力地改中占有重要地位,它影响对地质和遥感资料的准确解释,对发现深大断裂和深部矿体意义重大^[21]。由不同网格节点的 DEM 数据和 RGIS 自带高程库做地改后的精度对比,研究其对布格重力异常的影响,很容易被技术人员忽略。它会影响对局部重力异常的解释,有时会漏掉一些有意义的异常,从而错失找矿机会。

因此,在 1:5 万重力勘查区地形较为复杂、布格重力异常总精度及地形改正均方误差要求较高时,首选 1:5 万卫星 DEM 数据(节点距 50 m)进行重力远区地改。在满足规范要求的情况下,也可采用 RGIS 自带高程库进行重力远区地改。经研究对比两种远区地改方法各有优缺点。对于大测区大数据量的重力远区地改,建议分区分幅进行,同时重视 DEM 数据拼接时网格间距的选择,避免重力远区地改耗时太长,降低工作效率。

1 重力远区地改方法

将以测点为中心的四周地形分割成许多小块,尽可能模拟实际地形。计算出每一小块地形质量对测点的重力值,再累加和得出该点地形改正值。共用点法为其常用方法之一,共用点法是将实际地形分割成四棱柱体。首先计算重力测点(自由网点)附近 4 个节点的地形改正值(计算时用测点高程值代替四个节点的高程值),然后再将 4 个节点的地形改正值内插到测点位置上作为测点地形改正值,计算公式为(1)^[22]

$$\delta_g(x, y) = f\sigma\Delta x\Delta y \sum_i \sum_j \left\{ \frac{C_{ij}}{r_{ij}} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{h_{ij}}{r_{ij}}\right)^2}} \right] \right\}, \quad (1)$$

式中: $\delta_g(x, y)$ 为测点地形改正值; f 为万有引力常数 $6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$; σ 为地形校正密度; h_{ij} 为节点与计算点的高程差; r_{ij} 为节点与计算点的距离; Δx 、 Δy 为网格距或节点距; C_{ij} 为积分常数,此处选用梯形系数 C_{ij} 数据

$$C_{ij} = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{对于内节点,} \\ 0.5 \rightarrow \text{对于边缘点,} \\ 0.25 \rightarrow \text{对于外角点,} \\ 0.75 \rightarrow \text{对于内角点.} \end{cases}$$

由上式可知,测点重力地形改正值 $\delta_g(x, y)$ 与网格距或节点距 Δx 、 Δy 有关,网格距或节点距选择合适与否,决定了重力远区地改的精度高低^[22-23]。

计算测点附近的 4 个节点的测点重力值后,采用双线性插值公式计算出测点重力数据的远区改正值(图 1)。

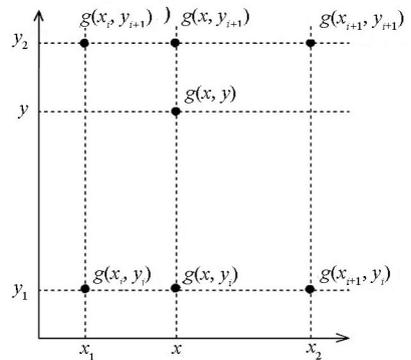


图 1 双线性插值法图示

Fig.1 Bilinear Interpolation Graphics

双线性插值计算公式如下:

$$g(x, y) = \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} g(x, y_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} g(x, y_2), \quad (2)$$

$$g(x, y_1) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} g(x_1, y_1) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} g(x_2, y_1), \quad (3)$$

$$g(x, y_2) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} g(x_1, y_2) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} g(x_2, y_2), \quad (4)$$

式中: $g(x, y)$ 为地改值双线性插值结果; $g(x_1, y_1)$ 、 $g(x_1, y_2)$ 、 $g(x_2, y_1)$ 、 $g(x_2, y_2)$ 为 4 个节点的地改值; x_1 、 x_2 、 y_1 、 y_2 为节点坐标值; Δx 、 Δy 为节点距。

由上式可知,测点重力地形改正值 $\delta_g(x, y)$ 精度及地改速度受网格距和边缘方向插值算法的制约,为解决这一问题,本文提出对双线性插值法进行改进。

2 改进的双线性插值重力远区地改计算方法

针对传统的双线性插值在实现沿任意边缘方向

插值时图像边缘模糊及算法速度、精度问题,本次研究对双线性插值法进行改进,基于边缘方向的插值是一种有效图像插值方法。双线性插值沿水平和垂直两个方向进行插值,不利于图像的实时放大处理,或难以达到最佳效果。本文提出首先确定插值点的重力值和边缘方向,再引入双线性插值算法,沿边缘方向进行插值,有效地提高了插值图像边缘的清晰度及算法速度、地改精度^[24-25]。

如图 2 所示, $g(x_i, y_i)$ 、 $g(x_i, y_{i+1})$ 、 $g(x_{i+1}, y_i)$ 、 $g(x_{i+1}, y_{i+1})$ 为 4 个节点的地改值, O 点为位于非正交直线 AB 上的待求内插点, 非正交直线 4 个节点所构成的四边形非垂直相交。

其中: A 点坐标为: $(x_{i+1} - s_i, y_i)$, B 点坐标为: $(x_{i+1} - s_i + \frac{y_{i+1} - y_i}{\tan\alpha}, y_{i+1})$; 插值方向角为 $\alpha \in [0, 2\pi]$, 称为改进的双线性插值法。当直线 AB 与四边形垂直相交时, 即为双线性插值法。

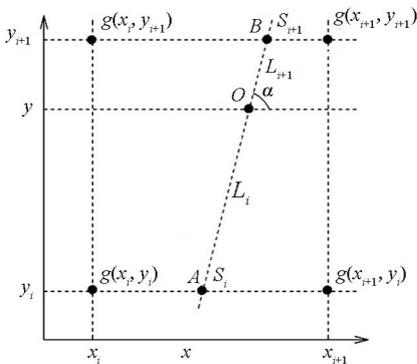


图 2 改进的双线性插值法图示

Fig.2 Improved bilinear interpolation method

由 A 点在 $g(x_i, y_i)$ 、 $g(x_{i+1}, y_i)$ 之间进行线性插值得到 A 点的地改值公式为:

$$g(A) = \frac{x_{i+1} - (x_{i+1} - s_i)}{x_{i+1} - x_i} g(x_i, y_i) + \frac{(x_{i+1} - s_i) - x_i}{x_{i+1} - x_i} g(x_{i+1}, y_i), A(x_{i+1} - s_i, y_i) \quad (5)$$

由 B 点在 $g(x_i, y_{i+1})$ 、 $g(x_{i+1}, y_{i+1})$ 之间进行线性插值得到 B 点的地改值公式为:

$$g(B) = \frac{x_{i+1} - (x_{i+1} - s_i)}{x_{i+1} - x_i} g(x_i, y_{i+1}) + \frac{(x_{i+1} - s_i) - x_i}{x_{i+1} - x_i} g(x_{i+1}, y_{i+1}), \quad (6)$$

由 O 点在 A 、 B 之间进行线性插值得到 O 点的地改值公式为:

$$g(O) = \frac{L_{i+1}g(A) + L_i g(B)}{L_i + L_{i+1}} = \frac{L_{i+1}}{L_i + L_{i+1}}g(A) + \frac{L_i}{L_i + L_{i+1}}g(B), \quad (7)$$

式中: $L_i + L_{i+1} = \sqrt{(s_i - s_{i+1})^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$, 当 $s_i = s_{i+1}$ 时, $L_i + L_{i+1} = y_{i+1} - y_i$, 则上式变为双线性插值公式。

使用 matlab 编程实现改进的双线性插值法, 并进行了重力远区地改值计算。

在测区西南角选择了 4 个重力观测点(节点)(图 3), 改进的双线性插值法 4 节点编号分别为 $g(x_i, y_i)$ 、 $g(x_i, y_{i+1})$ 、 $g(x_{i+1}, y_i)$ 、 $g(x_{i+1}, y_{i+1})$, 其坐标见表 1。依据图 3, 取 $s_i = 2\ 000\text{ m}$, $s_{i+1} = 1\ 000\text{ m}$, $\alpha = 45^\circ$ 。

由图 3 可知, 在测区西南角, Δg 一般在 $(-15 \sim -10) \times 10^{-5}\text{ m/s}^2$ 之间变化, 因此改进的双线性插值法较好反映了重力异常的变化趋势, 可以提高推断解释的精度。

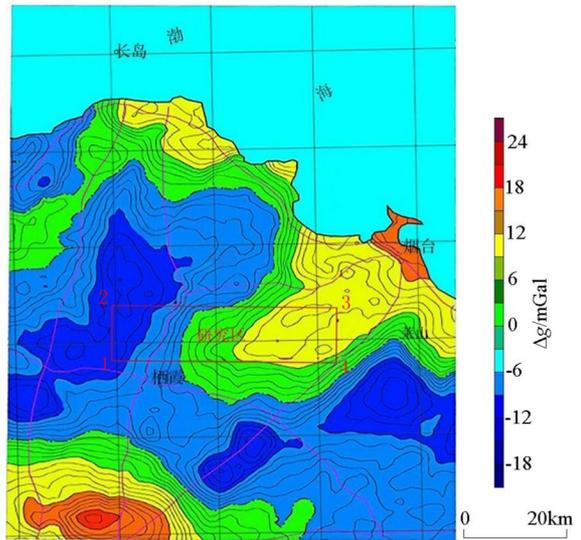


图 3 山东烟台地区区域布格重力异常平面

Fig.3 Plane of Bouguer gravity anomaly in the Yantai area of Shandong Province

表 1 改进的双线性插值法试验计算对比

Table 1 Comparison table of test calculation of improved bilinear interpolation method

节点	x 坐标/m	y 坐标/m
$g(x_i, y_i) = -11.15$	302130	4136486
$g(x_i, y_{i+1}) = -11.58$	302130	4137983
$g(x_{i+1}, y_i) = -8.03$	305036	4136486
$g(x_{i+1}, y_{i+1}) = -9.03$	305036	4137983
双线性插值法地改后布格重力异常值		$-9.55 \times 10^{-5}\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
改进的双线性插值法地改后布格重力异常值		$-10.69 \times 10^{-5}\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

3 重力远区地改精度对比分析

1:5万卫星 DEM 数据原始节点距为 25 m, 基于该节点距的山东省栖霞市臧家庄幅 1:5万重力勘查 DEM 数据网格拼接用于重力远区地改存在效率较低的事实。本次选取该区 27 个测点原始与检查数据, 在使用 Suffer8 进行 DEM 数据拼接时选取了 25、50、100、200 m 四种网格节点距, 使用金维 GeoIPAS3.0 软件将原始与检查数据分别进行了重力远 I 区(2~20 km)地改试验。地改精度与时效指

标情况见表 2。由表 2 可知, 网格节点距越大, 重力远 I 区(2~20 km)地改时间越短, 地改均方误差越大。经试算, 该区合适的网格节点距为 50 m, 其重力远 I 区地改均方误差为 0.000 36, 优于使用 RGIS 自带高程库重力远 I 区地形改正均方误差(0.03), 满足规范要求。

对山东省栖霞市臧家庄幅 1:5万重力勘查 760 测点采用 25 m×25 m 网格节点距 DEM 拼接数据。金维 GeoIPAS3.0 软件进行了重力远 I、II 区地形改正, 760 个测点一次地改需要 42 h。可见 25 m×25 m 网格节点距 DEM 数据用于地改效率较低。

表 2 不同网格间距重力远 I 区地改精度统计

Table 2 Statistical table of terrain correction accuracy in distant I area of gravity with different mesh spacing

节点距	重力远 I 区地改时间	重力远 I 区地改均方误差
25 m×25 m	1.52 h	0.000 360
50 m×50 m	15 min	0.000 360
100 m×100 m	6 min	0.000 385
200 m×200 m	4 min	0.000 408

4 应用效果对比

4.1 重力异常特征对比

研究区为山东栖霞臧家庄盆地, 区内岩浆岩分布广泛, 以中生代郭家岭序列罗家单元斑状中细粒含黑云二长花岗岩为主。玲珑—招风顶脉岩带通过该区, 脉体产状为: 走向 20°~40°, 倾向 NW 向为主, SE 向次之, 单脉宽 2~50 m, 长度多在 1 100~8 000 m。岩石类型有煌斑岩、闪长玢岩、石英闪长玢岩、石英正长斑岩、细晶闪长岩等。臧家庄盆地西缘紫现头断裂和北缘西林断裂交汇于本区, 构造复杂, 次级断裂众多。区内 NE 向断裂构造较发育, 且多以张性为主, 与金矿关系密切。

研究区区域重力异常特征: 区内重力场值西北低, 东南高(图 3), 变化范围为(-14~14)×10⁻⁵ m/s², 异常等值线主要呈现 NNE 向展布, 并叠加一些局部重力异常。重力场特征为密集的重力异常梯级带。根据区域地质资料推断为典型的深大断裂的反映。在其西北部区域, 重力梯级带变得宽缓, 局部区段扭动频率增强, 说明局部构造发育, 但重力场构造线总体为 NNE, 与地质构造格架吻合。

研究区地形特点: 在研究区西部和中东部均有 2 处相对较高地形(图 4), 高程一般在 111~316 m。全区最高点在东部, 高程 360 m; 最低点在东北角, 高程 70 m, 全区地形高差为 290 m。这些相对较高地形为山区, 中部和东部共有 3 条带状相对低值地

形区, 为山沟和第四系。

研究区已知矿床地质特征: 该区内已知的矿产主要是金矿, 其中小型矿床 1 处, 矿点 2 处, 矿化点 1 处。郭家店小型金矿, 赋存于 NE 向张性破碎带中, 产于一组 NE 向的石英脉中。成矿时代为燕山期, 围岩为斑状中粒花岗闪长岩, 主要蚀变为黄铁矿化、绢云母化、褐铁矿化等, 化学分析金含量在(3~10)×10⁻⁶之间(图 5)。

研究区重力异常特征: 重力异常总体走向为 NE 向。重力场表现为东高西低特征, 局部稍有变化。低值区位于工作区西北角, 布格重力异常值一般在(-14~0)×10⁻⁵ m/s² 之间变化, 与二长花岗岩和古元古界粉子山群祝家乔组透闪大理岩和变粒岩对应; 高值区位于工作区东北部, 布格重力异常值一般在(0~15)×10⁻⁵ m/s² 之间变化, 与二长花岗岩和石英闪长玢岩脉对应(图 5、图 6)。

研究区已知金矿脉的重力异常特征: 西北部 3 条和西南、中南部 9 条金矿脉均处在布格异常等值线梯级带和扭曲变形之处, 布格重力异常值一般在(-13~5)×10⁻⁵ m/s² 之间变化, 属相对低缓布格重力异常(图 1、图 6)。

图 6 与图 7 是分别基于 RGIS 自带高程库(网格距 1km)和基于 DEM(网格距 50m)改进的双线性插值中远区地改后布格重力异常分布特征。二者布格重力异常展布形态基本相同, 只在基于 RGIS 自带高程库中远区地改后布格重力异常图的北东部有两处重力高值异常与基于 DEM 改进的双线性插

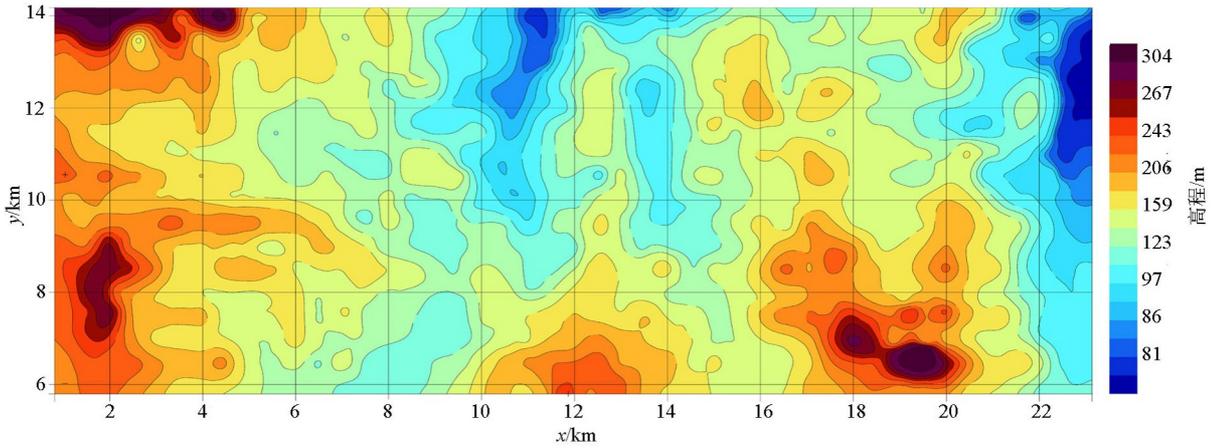
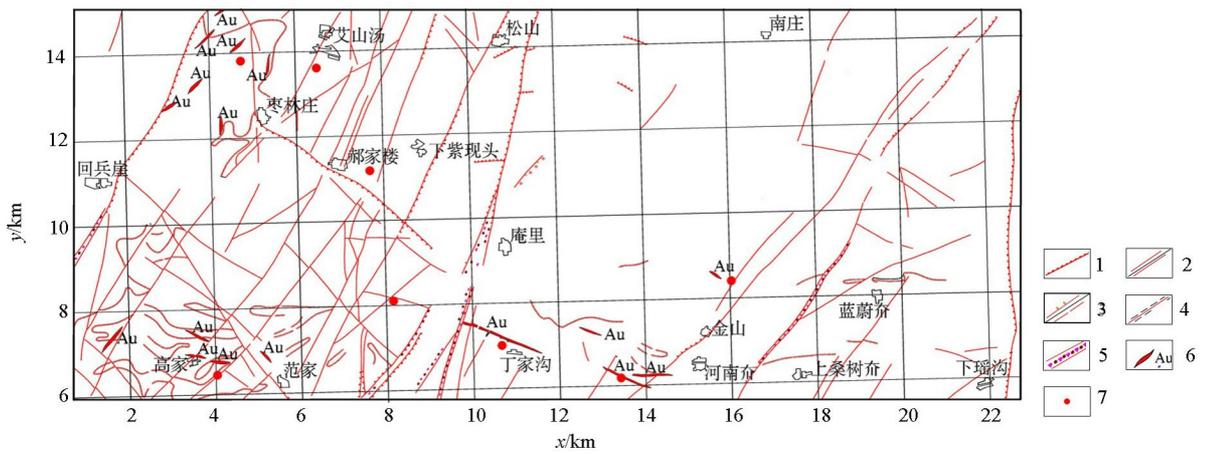


图 4 研究区地形

Fig.4 Topographic map of the study area



- 1—推测断裂; 2—压扭性断裂; 3—张性断裂; 4—韧性断层; 5—构造破碎带; 6—金矿脉; 7—钻孔
- 1—speculated fracture; 2—compression torsion fracture; 3—tensile fracture; 4—ductile fault;
- 5—structural fracture zone; 6—gold vein vein; 7—drilling

图 5 研究区构造及矿点分布

Fig.5 Structure of the study area and Titanium Vein

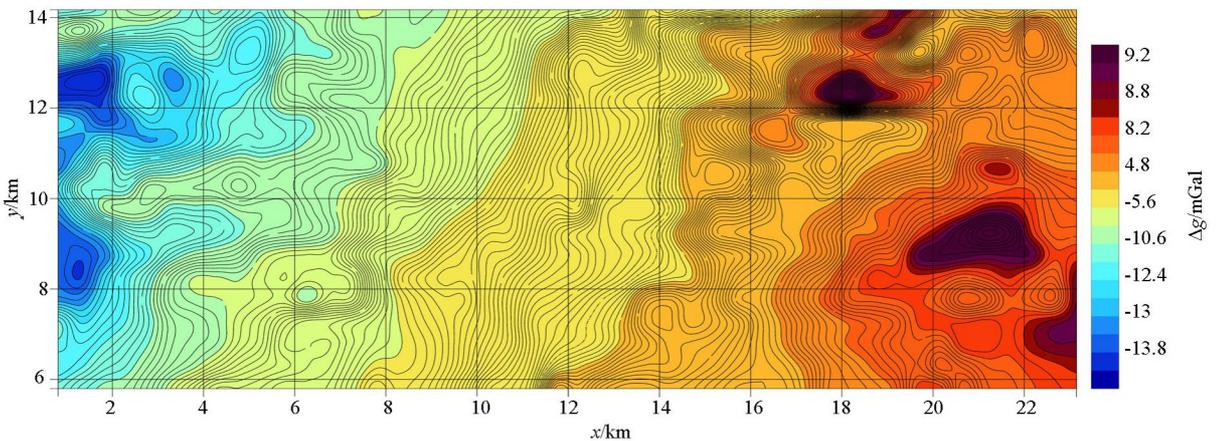


图 6 基于 RGIS 自带高程库中远区地改后布格重力异常

Fig.6 Based on the Bouguer gravity anomaly map of the remote area of RGIS with its own elevation data

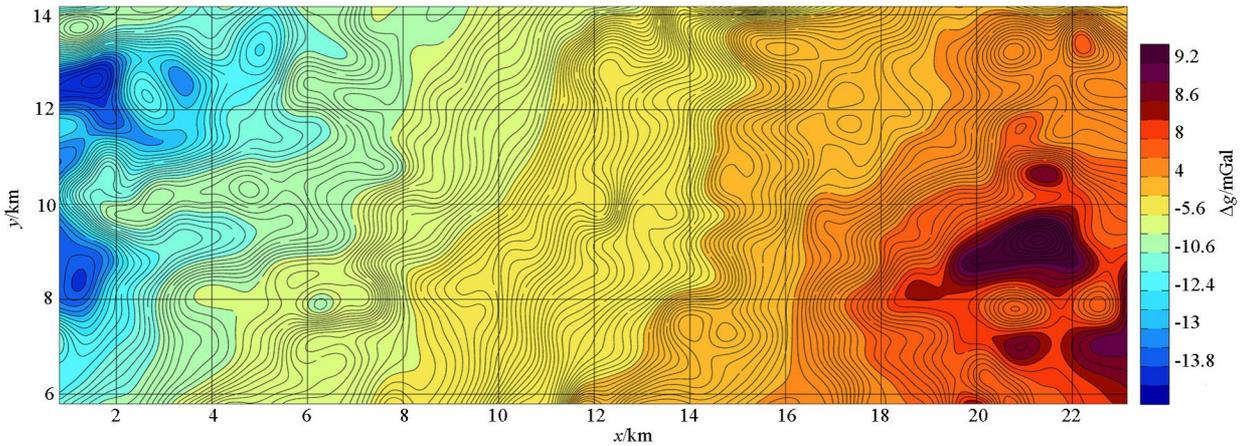


图7 基于 DEM 改进的双线性插值中远区地改后布格重力异常

Fig.7 Modified Bouguer gravity anomaly map of far area by bilinear interpolation based on DEM

值中远区地改后布格重力异常稍有不同,在图7中两处重力高值异常消失,显示为正重力异常梯级带,提高了地质解释的精度。产生这一差别的原因与这两处高差变化之大有关系,是RGIS自带高程库的网格距远大于DEM网格距所致。

研究区构造特征:布格重力高异常等值线密集、梯度变化较大及错断部位,是推断深大断裂的依据。区内具多个圈闭中心的异常,表明局部构造发育。位于研究区西部摩天岭—南交毛寨—艾山汤一带断裂,异常呈梯级带和扭曲收缩特征,沿NE向展布,布格重力异常值在 $-11 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 左右;位于研究区西部高家—盛家—瞳顶一带断裂,异常呈梯级带和扭曲收缩特征,沿NE向展布,布格重力异常值在 $-10 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 左右(图5、图7)。

4.2 重力异常相关分析

研究区的地形变化对重力异常的影响不容忽视,无论地形的隆起或是凹陷,都将减小异常的实测值导致重力异常图在形态上的直接变化,影响对异常的客观解释。将布格重力异常和地形两个物理量进行相关分析,以反映研究区内地形起伏对重力异常的影响情况,以及地形改正是否完全或改算方法是否完善。重力异常和地形之间的相关分析依据式(8)^[27]:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(x - \bar{y})}{\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{y})^2}{n}}} = \frac{\sum (x - \bar{x})(x - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (x - \bar{y})^2}}, \quad (8)$$

式中: x 为重力异常值; y 为高程; \bar{x} 为重力异常平均值; \bar{y} 为高程平均值; n 为相关变量个数; r 为相关系数, $-1 \leq r \leq 1$ 。

图8、图9分别为基于RGIS自带高程库(网格距1 km)和DEM(网格距50 m)改进的双线性插值中远区地改后布格重力异常和高程相关系数分布特征。图8的东北部有两处相关系数与图9的不同,在图9中这两处相关系数明显增大,并且连续。产生这一差别的原因亦与该处高差变化之大有关系,是RGIS自带高程库的网格距远大于DEM网格距所致,说明基于DEM改进的双线性插值远区地改完全度高于基于RGIS自带高程库远区地改,并且改算方法精度较高。

5 结论与讨论

本次试验重力远区地改精度以均方误差体现。经对比分析:基于1:5万卫星DEM数据50 m×50 m网格节点距的1:5万重力远区地改精度优于使用RGIS自带高程库(网格距1 km)重力远I区地形改正精度。在不同地形和不同精度要求的测区可选择使用以上两种方法。该试验证明:对重力远区地改不能完全以DEM数据中默认网格节点距为准,要通过DEM数据不同网格节点距试算重力远区地改值。改进的双线性插值法计算远区地改值证明,该方法提高了算法速度和精度。

研究表明,基于DEM改进的双线性插值法远区地改布格重力异常和高程相关度更高,对线性构造和地层、岩体的边界的识别精度高。从本区的布格重力异常图对比中发现:随着基于DEM改进的双线性插值法地改不同网格距的选择和高差变大,

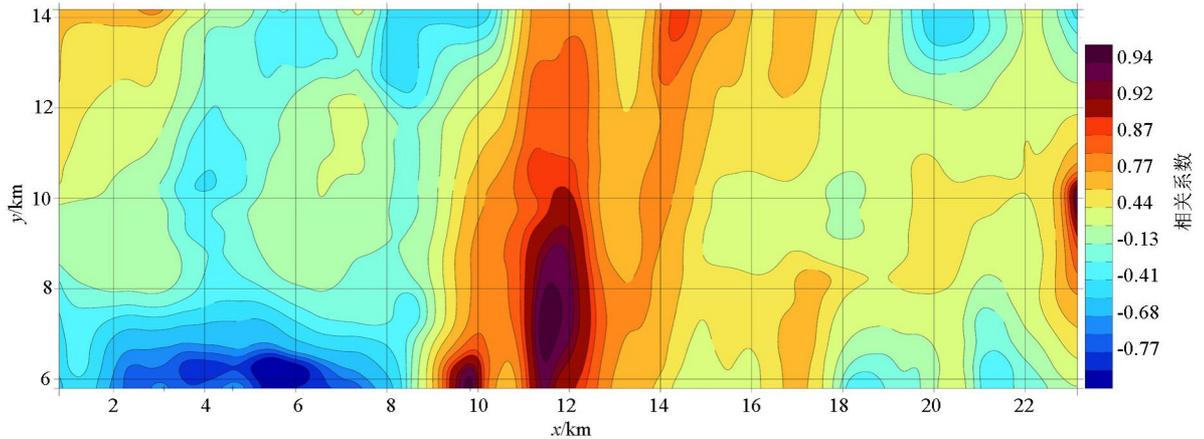


图 8 基于 RGIS 自带高程库布格重力异常和高程相关系数分布

Fig.8 Based on the distribution of elevation kugger gravity anomaly and elevation correlation coefficient in RGIS

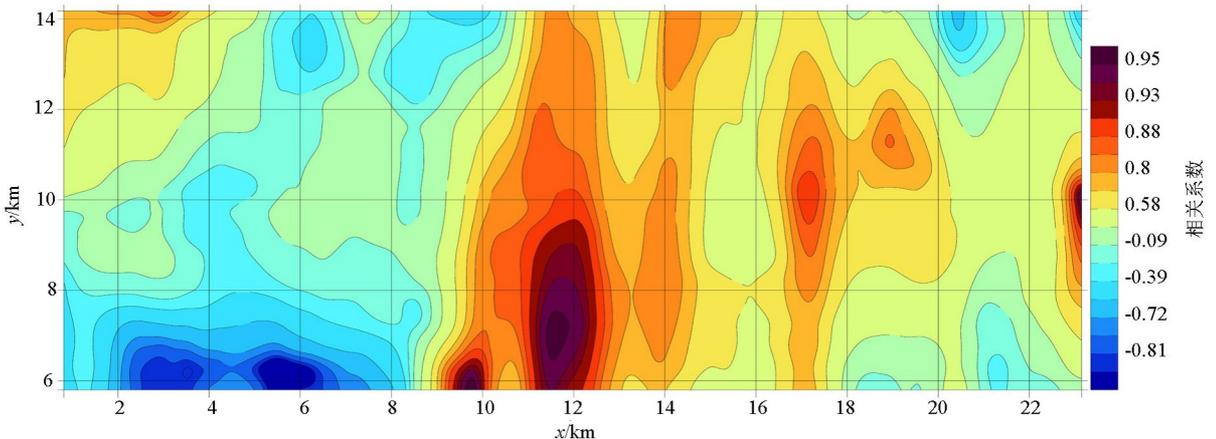


图 9 基于 DEM 改进的双线性插值布格重力异常和高程相关系数分布

Fig.9 Improved bilinear interpolation kugger gravity anomaly and elevation correlation coefficient distribution based on DEM

异常局部会产生不同的形态变化,从而提高地质解释的精度,这是值得注意的一点。

参考文献 (References):

[1] 李东汉.试论区域重力测量远区地改的精度[J].物探与化探, 1984,8(2):99-104.

Li D H. Discussion on the accuracy of regional gravity measurement in remote area [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1984,8(2):99-104.

[2] 周江存,徐建桥,孙和平.中国大陆精密重力潮汐改正模型[J].地球物理学报,2009,52(6):1474-1482.

Zhou J C, Xu J Q, Sun H P. Precise gravity tide correction model in mainland China [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2009, 52(6):1474-1482.

[3] 张国利,赵更新,匡海阳,等.近几年地面重力调查工作方法技术的一些进展[J].地球物理学进展,2015,30(1):386-390.

Zhang G L, Zhao G X, Kuang H Y, et al. Some advances in working methods and techniques of ground gravity surveys in recent years [J]. Progress in Geophysics, 2015,30(1):386-390.

[4] 郑伟,许厚泽,钟敏,等.基于改进的预处理共轭梯度法和三维插值法精确和快速解算 GRACE 地球重力场[J].地球物理学进展,2011,26(3):805-812.

Zheng W, Xu H Z, Zhong M, et al. Accurate and fast calculation of GRACE Earth's gravity field based on improved pre-processing conjugate gradient method and 3D interpolation method [J]. Progress in Geophysics, 2011,26(3):805-812.

[5] 徐璐平,张贵宾,李皎皎,等.航空重力地改最大半径的研究及地改快速计算方法比较[J].物探与化探,2015,39(S1):113-118.

Xu L P, Zhang G B, Li J J, et al. Research on the Maximum Radius of Aerial Gravity Land Reform and Comparison of Fast Calculation Methods of Land Reform [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015,39(S1):113-118.

[6] 张伟,廖国忠,张秋冬,等.球坐标系下基于全球 DEM 数据的重力远二区高精度地改算法[J].大地测量与地球动力学,2015,35(4):632-635.

Zhang W, Liao G Z, Zhang Q D, et al. High-precision ground gravity correction algorithm based on global DEM data in spherical coordinates [J]. Geodesics and Geodynamics, 2015,35(4):632-

- 635.
- [7] 宋旭锋,曹涛,代达龙,等.激光测距仪在大比例尺重力测量近区地改中的应用研究[J].云南大学学报:自然科学版,2012,34(S2):171-174.
Song X F, Cao T, Dai D L, et al. Application of laser rangefinder in large scale gravity measurement of near-field ground reform [J]. Journal of Yunnan University: Natural Science Edition, 2012, 34(S2): 171-174.
- [8] 钟华,张海玲,刘和花,等.估计重力地改最佳地层密度值的面积相关法[J].物探与化探,2013,37(3):512-516.
Zhong H, Zhang H L, Liu H H, et al. Area correlation method for estimating the best stratum density value of gravity ground [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2013, 37(3): 512-516.
- [9] 尹文笋,张建中.陆地和海底地形对海洋重力异常的影响[J].地球物理学进展,2014,29(5):2449-2455.
Yin W S, Zhang J Z. Effects of land and seafloor topography on ocean gravity anomalies [J]. Progress in Geophysics, 2014, 29(5): 2449-2455.
- [10] 杨再朝.在笛卡尔坐标系下进行重力全球测量外部改正的快速算法[J].石油地球物理勘探,1988,23(5):630-637,642.
Yang Z C. A Fast algorithm for external correction of global gravity survey in cartesian coordinate system [J]. Petroleum Geophysics, 1988, 23(5): 630-637, 642.
- [11] 王旭,周爱国,孙自永,等.1972~2009年念唐青古拉山西段冰湖分布及其变化特征[J].地质科技情报,2012,31(4):91-97.
Wang X, Zhou A G, Sun Z Y, et al. Ice lake distribution and variation characteristics in the western section of gula mountain in Nianqing and Tang dynasty from 1972 to 2009 [J]. Geological Science and Technology Information, 2012, 31(4): 91-97.
- [12] 胡明科,江玉乐,李超,等.基于面积积分的重力地形改正方法研究及应用[J].物探化探计算技术,2015,37(2):182-186.
Hu M K, Jiang Y L, Li C, et al. Research and application of gravity terrain correction method based on area division [J]. Computing Technology for Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 37(2): 182-186.
- [13] 徐璐平.航空重力地形改正研究及其算法改进[D].北京:中国地质大学(北京),2011.
Xu L P. Research on aviation gravity terrain correction and its algorithm improvement [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2011.
- [14] 宋珊.三维地球的并行区块化网格生成方法[A]//中国地球物理学会.中国地球物理 2012,2012.
Song S. Parallelized grid generation method for 3D earth [A]// Chinese Geophysical Society. Chinese Geophysics 2012, 2012.
- [15] 杨辉,丁海涛,王宜昌,等.山区重力改正中几个问题的讨论[J].石油地球物理勘探,2000,35(4):479-486.
Yang H, Ding H T, Wang Y C, et al. Discussion on several issues in gravity correction in mountain areas [J]. Petroleum Geophysics, 2000, 35(4): 479-486.
- [16] 骆迪,刘展,李曼,等.重力校正中存在的若干问题 CJ7.地球物理学进展,2013,28(1):111-120.
Luo D, Liu Z, Li M, et al. Several problems in gravity correction CJ7 [J]. Advances in Geophysics, 2013, 28(1): 111-120.
- [17] 朱文泉.在山区试用高精度重力测量普查金属矿[J].地球物理学报,1961,10(1):83-97.
Zhu W Q. Trial of high-precision gravity survey of general surveyed metal deposits in mountain areas [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1961, 10(1): 83-97.
- [18] 江为为,管志宁,郝天珧,等.华北地台北缘地球物理场特征与金属矿床预测[J].地球物理学报,2002,45(2):233-245.
Jiang W W, Guan Z N, Hao T Z, et al. The geophysical field features and metal deposits prediction in the Taipei margin of north China [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2002, 45(2): 233-245.
- [19] 张伟,廖国忠,张秋冬,等.基于三角网扣合的山区重力测量高精度近区地改算法[J].地球物理学进展,2015,30(5):2330-2336.
Zhang W, Liao G Z, Zhang Q D, et al. High-precision near-field geo-reformation algorithm for gravity measurement in mountain areas based on triangulation mesh [J]. Progress in Geophysics, 2015, 30(5): 2330-2336.
- [20] Saadi N, et al. Integrating data from remote sensing, geology and gravity for geological investigation in the Tarhunah area, Northwest Libya Integrating data from remote sensing, geology and gravity for geological investigation in the Tarhunah area, Northwest Libya [J]. International Journal of Digital Earth, 2008 (1): 347-366.
- [21] 雷晓东,胡圣标,杨全合,等.北京南口—孙河断裂带水热系统特征与成因分析[J].地球物理学报,2017,60(5):1838-1850.
Lei X D, Hu S B, Yang Q H, et al. Characteristics and genesis of the hydrothermal system in the Nankou-Sunhe fault zone of Beijing [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2017, 60(5): 1838-1850.
- [22] 中华人民共和国国土资源部.重力调查技术规范(1:50000)[S].中华人民共和国地质矿产行业标准[DZ/T0004-2015],2015.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Gravity survey specifications (1:50000) [S]. Geology and Mineral Resources Industry Standards of the People's Republic of China [DZ/T0004-2015], 2015.
- [23] 中华人民共和国国土资源部.大比例尺重力勘查规范[S].中华人民共和国地质矿产行业标准[DZ/T0171-2017],2016.
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Specification for large-scale gravity exploration [S]. Geological and Mineral Industry Standard of the People's Republic of China [DZ/T0171-2017], 2016.
- [24] 徐遵义,姜玉祥,赵亮,等.改进的 Shepard 算法及其在重力异常插值中的应用[J].武汉大学学报:信息科学版,2010,35(4):477-480.
Xu Z Y, Jiang Y X, Zhao L, et al. Improved Shepard algorithm and its application in gravity anomaly interpolation [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2010, 35(4): 477-480.
- [25] 孙章庆,孙建国,岳玉波,等.基于快速推进迎风双线性插值法的三维地震波走时计算[J].地球物理学报,2015,58(6):2011-2023.
Sun Z Q, Sun J G, Yue Y B, et al. Travel time calculation of 3D seismic waves based on fast-advancing upwind bilinear interpolation

tion [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2015, 58(6): 2011 -

2023.

The impact and effect of DEM grid spacing on the accuracy of gravity remote topographic correction

LI Zhong-Ping^{1,2}, DAI Guang-Kai³, ZHANG Mao-Hui⁴

(1.School of Geophysics and space information, China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan 430074, China; 2.Zhengyuan Geology & Exploration Institute of Shandong, Bureau of China Metallurgy and Geology, Jinan 250014, China; 3.Shandong Institute of Geological Survey, Jinan 250013, China; 4.School of Geophysics and Space Information, China University of Geosciences Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The 1:50 000 gravity far area terrain correction is generally obtained from the 1:50 000 DEM elevation model correction in the survey area. 1:50 000 DEM can be spliced according to different grid spacings, which correspond to different terrain correction accuracies; RGIS is calculated by its own elevation database, and the topographic correction of 1:50 000 gravity far area in the survey area is completed. The authors chose the 1:50 000 gravity remote area I (2~20 km) land reform of Zangjiazhuang area in Qixia City, Shandong Province, as an example. Through the use of 25, 50, 100, 200 m four grid node spacings for 1:50 000 DEM data splicing and the use of the improved bilinear interpolation method, the authors calculated the terrain correction and mean square error in the far area I of gravity. Compared with the terrain correction mean square error of gravity far area I of RGIS own elevation reservoir, it is confirmed that the terrain correction accuracy of gravity far- I area based on 1:50 000 DEM elevation model is better than that of gravity far- I area with RGIS.

Key words: terrain correction in the far area of gravity; DEM grid spacing; terrain correction accuracy; improved bilinear interpolation

(本文编辑:王萌)