

高程数据网格间距对重力中区地形改正精度的影响

张俊, 张宝松, 邱兵叶, 殷启春
(南京地质调查中心, 江苏 南京 210016)

摘 要: 为了解高程数据网格间距对表面积分法、直立长方体法和平均高程直立长方体法计算的中区地形改正值精度的影响, 笔者选择某地区 450 个测点, 并使用不同网格间距高程数据计算中区地改值, 通过对比发现表面积分法计算精度受高程数据网格间距影响较小, 而直立长方体法反之。然后将中区地改 50~2 000 m 分为 10 个区间段进行计算, 通过统计得出误差的 45% 和 30% 左右都分布在 50~200 m 和 200~500 m 段, 因此提出提高中区地形改正精度必须提高 50~200 m 和 200~500 m 内高程数据网格密度。

关键词: 中区地改; DEM 网格间距; 表面积分法; 直立长方体法; 平均高程法

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2014)01-0157-05

随着重力仪器精度的不断提高和高精度差分 GPS 的广泛使用, 使得现阶段重力勘探数据精度的高低很大程度上都取决于地形改正精度的高低。而中区地形改正由于距地形质量较近, 地形改正值受地形起伏影响较大, 是提高地形改正精度和重力调查精度的关键因素。

冯治汉^[1]使用直立长方体法和 20 m×20 m、50 m×50 m 和 100 m×100 m 网格高程数据计算北祁连西区域重力调查地形改正值, 并用移动网格法讨论了地形改正精度, 得出 20 m×20 m 网格高程数据对地形的模拟程度更高。为了得到更高精度的布格异常, 韩革命, 杨亚斌, 梁萌^[2]提出当水域规模较大时, 不能将水域视为与地形改正相同密度的物质, 并给出了水体地形改正效果。马国庆, 孟令顺, 杜晓娟^[3]以方域地形改正方法为基础, 编制了 MATLAB 地形改正程序, 并使用重力测点进行了验证, 提高了重力地形改正的精度和效率。吕川川, 郝天珧, 徐亚^[4]讨论了海底地形改正对布格重力异常的意义, 并使用空间域和频率域综合改正方法在实际工作中取得了很好的效果。

笔者在前人的研究基础上, 使用表面积分法、直立长方体法和平均高程直立长方体法计算地形改正值, 并结合同一地区的不同网格高程数据, 讨论高程数据网格间距对三种方法计算精度影响。然后将中区地形改正分为 50~200、200~300、300~400、400

~500、500~600、600~800、800~1 000、1 000~1 200、1 200~1 600、1 600~2 000 m 进行计算, 讨论不同网格间距对各段的改正值误差的影响和误差的主要分布区间。

1 计算方法

1.1 表面积分法

表面积分法是通过将高程数据剖分成三角网, 然后使用三角面积公式计算地形改正值, 最后将所有计算值累加, 便得到地形改正值。由于使用三角形作为计算单元, 表面积分法能够最佳拟合地面起伏从而得到更为精确的地形改正值。表面积分法详细计算原理和公式可参考文献[5-8]。

1.2 直立长方体法

直立长方体法是使用一系列的直立长方体模拟地形的起伏, 通过对每一个长方体单元进行计算求和得到地形改正值。直立长方体法是比较常用的中区地形改正计算方法, 计算公式请参考文献[9-10]。

1.3 平均高程直立长方体法

平均高程直立长方体法利用相邻 4 个网格点高程的平均值作为计算网格点的高程, 以 4 个网格点的中心作为计算网格点的中心, 计算地形改正值, 通过利用更多的高程信息而更加准确的拟合地形, 计算公式与直立长方体法相同。

2 地形改正计算

2.1 三种方法用较高分辨率 DEM 计算结果对比

如图 1 为某地区 10 m×10 mDEM 数据,区内地形有较平坦区,也有起伏复杂区,具有一定代表性。笔者在区内选取 450 个测点,使用表面积分法、直立长方体法和平均高程直立长方体法分别计算50~2 000 m 中区地形改正值,其计算结果统计见表 1。地形改正值最大为 $16.211\times 10^{-5}\text{ m/s}^2$,最小改正值 $0.110\times 10^{-5}\text{ m/s}^2$,平均改正值为 $3.626\times 10^{-5}\text{ m/s}^2$;地形改值主要分布在 $(0.110\sim 6.550)\times 10^{-5}\text{ m/s}^2$ 之间,约占总测点数的 85%。

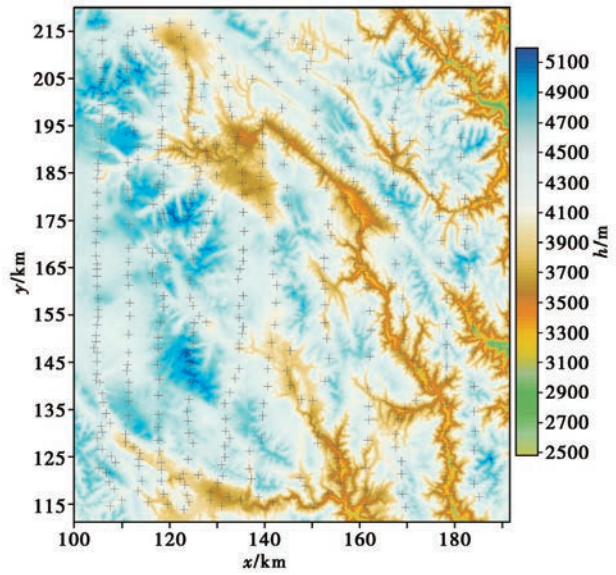


图 1 某地区高程和测点位置

表 1 450 个测点中区地形改正计算结果统计

组下限	组上限	组中值	频数
0.110	3.330	1.720	231
3.330	6.550	4.940	150
6.550	9.771	8.160	54
9.771	12.991	11.381	12
12.991	16.211	14.601	3

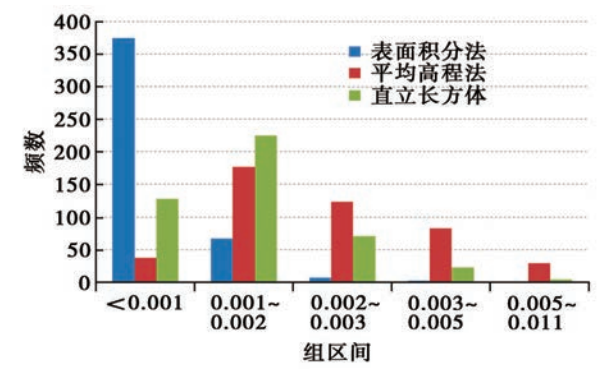


图 2 某地区高程和测点位置

由图 2 可见,表面积分法、直立长方体法和平均高程法在使用较高分辨率 DEM 进行计算时,计算结果都较为接近,计算结果与它们的平均值之差,绝大部分在 $\pm 0.003\times 10^{-5}\text{ m/s}^2$ 以内,表明了三种方法在使用高分辨率 DEM 数据时均能较为准确计算地形改正值。因此笔者将三种方法计算结果平均值视为各测点的地形改正真值用于评价地改精度。

2.2 用低分辨率的网格高程数据计算地形改正值

为了评价高程网格间距对地形改正值和计算方法的影响,我们将 10 m×10 mDEM 数据抽稀为 20 m×20 m,30 m×30 m,40 m×40 m 和 50 m×50 m 计算地形改正值。将 10 m×10 mDEM 计算的各测点地形改正值取平均,平均值作为真值,用于评价抽稀后的高程数据计算的地形改正值误差。

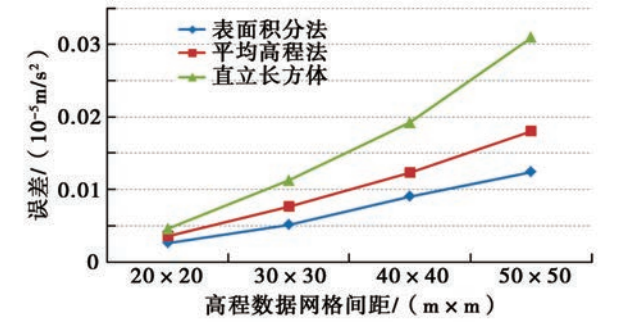


图 3 各方法使用不同网格间距高程数据计算地形改正值误差

450 个测点使用三种方法和不同分辨率高程 DEM(20 m×20 m、30 m×30 m、40 m×40 m、50 m×50m) 进行计算,三种方法的不同分辨率高程 DEM 及总均方误差之间关系见图 3。由图 3 可见:①不同网格距高程数据计算结果表明,表面积分法误差最小,平均高程直立长方体法次之,直立长方体法精度最低。②随着高程数据网格距的增加,改正方法模拟地形起伏的精度随之降低,地形改正值误差逐渐增大。③表面积分法和平均高程直立长方体法受高程数据网格距的影响较小,误差曲线近似成线性;直立长方体法受高程数据网格距影响较大,并且随高程数据网格间距增大,误差曲线斜率也随之增大,即直立长方体法计算误差随网格距增大的幅度要高于以上两种方法。

2.3 误差统计

将各测点使用不同方法和不同网格间距高程数据计算的地形改正值误差分 4 个组区间统计频数,结果如图 4。

由图 4 可见,由于表面积分法的精度较高,所以大部分测点的地改误差值都分布在最小组区间内,并随着误差增大,分布测点数逐渐减小。平均高

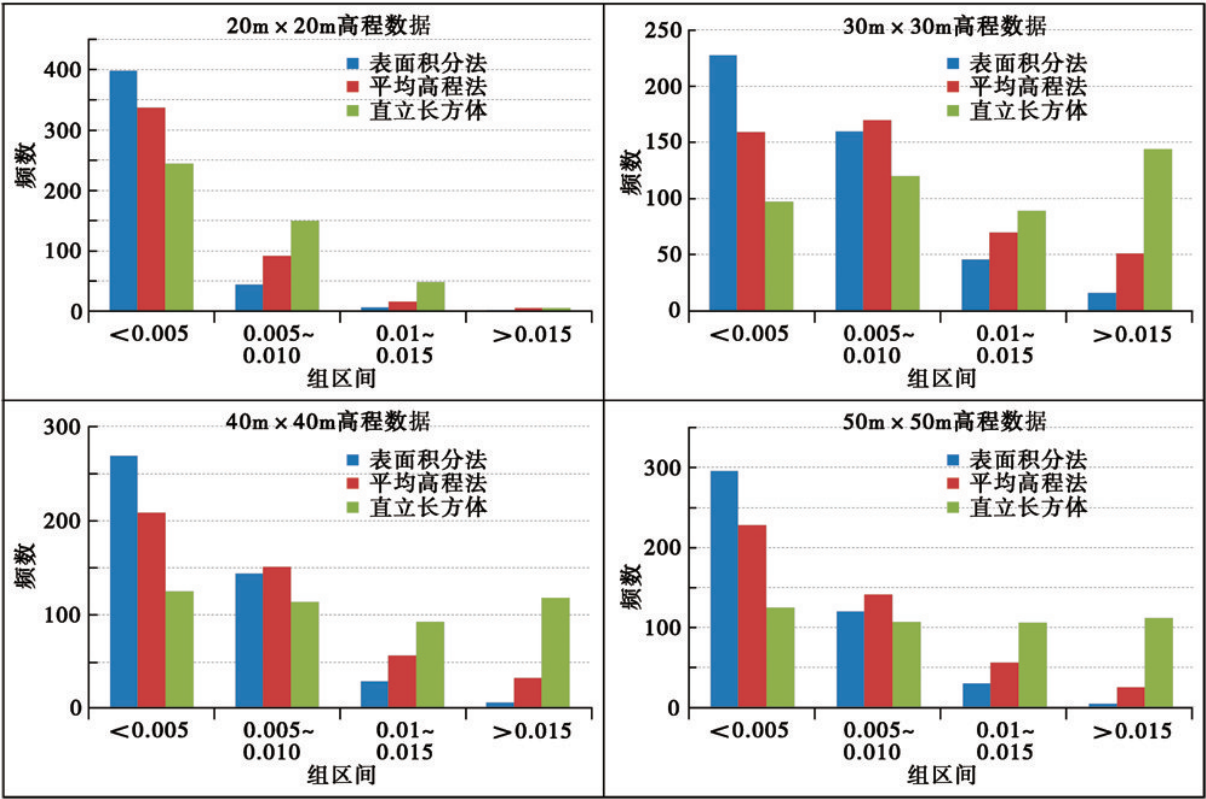


图 4 各方法使用不同网格距高程数据计算误差统计

程直立长方体法与表面积分法类似,但误差在最小组区间内的测点数量要少于表面积分法,说明其精度要比表面积分法低。直立长方体法误差最大,因此其在最小组区间内的测点数最少,最大组区间内的测点数最多,说明其地形改正计算精度最低。

3 误差分析

3.1 分区间评价高程数据网格间距对地改精度的影响

为了分析使用不同网格间距高程数据计算地形改正值时,误差主要分布区间,笔者将中区地形改正分为 10 段计算,分别为 50~200、200~300、300~400、400~500、500~600、600~800、800~1 000、1 000~1 200、1 200~1 600、1 600~2 000 m。然后统计各测点各段地改值占总绝对误差 t 的百分比 p_n ,计算公式为

$$p_n = \frac{c_n}{t} 100\%。$$

其中, $t = \sum_{n=1}^{10} c_n$, c_n 为第 n 段地改值与使用 10 m×10 m 高程数据计算相应区间的地改值之差的绝对值。为了解决地改补角所带来的误差,笔者在改正半径圆形切割改正单元处均使用三角单元计算。如图 5,计算单元被改正半径切割,切割交点为 A、C 两

点,那么直接计算由 $\triangle ABC$ 的改正值即可。这样处理可以使内改算圆环与外改算圆环无缝连接,减少由于补角原因产生的误差,更准确的分段计算改正值。

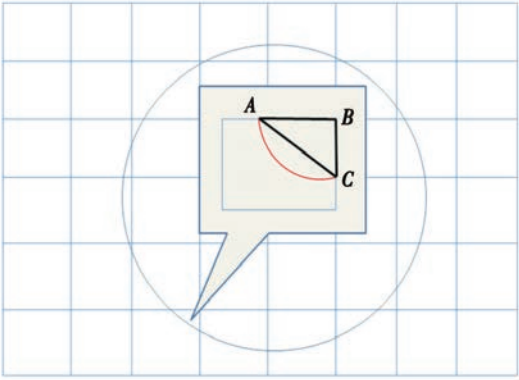


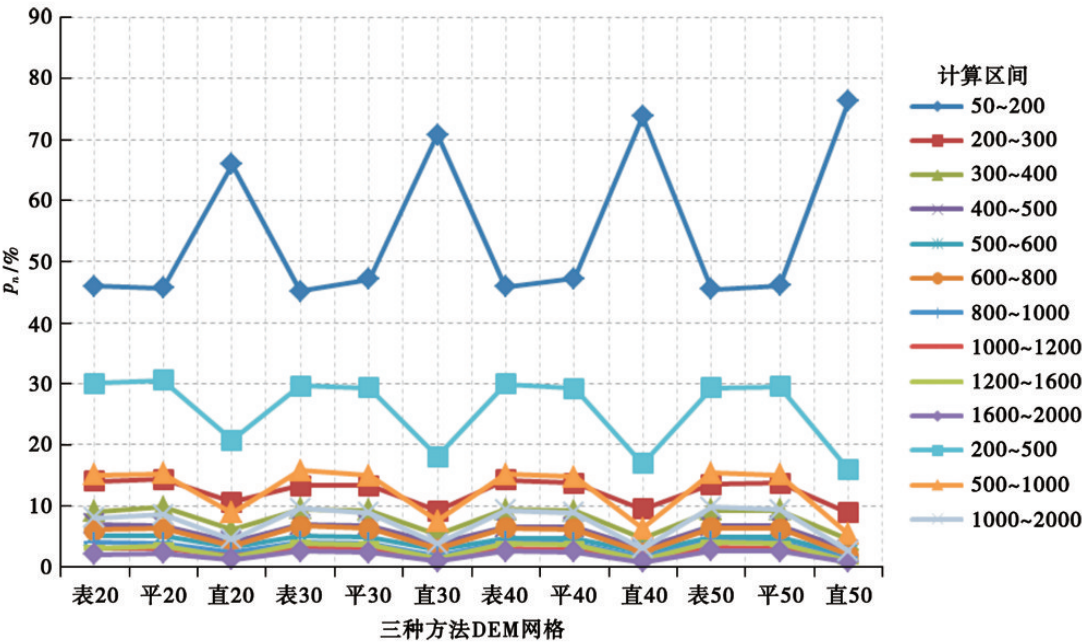
图 5 补角改正示意

如图 6 所示,50~200 m 区间表面积分法和平均高程法误差约占总绝对误差的 45%,直立长方体法约占 65%~75%,此段为地形改正误差为误差主体部分。由图可见直立长方体法受 DEM 网格间距的影响更大,并且随网格距增大,其占误差比重也随之增大。其他段由于距离较远,误差均<15%。将 2、3、4 段累加得到 200~500 m 区间占总绝对误差百分比,其中表面积分法和平均高程法误差约占总绝

对误差的 30%,直立长方体法约占 20%,其影响小于 50~200 m 区间。由 450 个测点统计可知,50~500 m 区间误差可占中区地改误差的 75%以上。

由以上算例数据说明,中区地形改正误差大部分分布在改正区间的前段。要提高中区地改的精度,重点在提高前段地形改正的精度。改正区间的后段由于地形质量距离计算点较远,对高程数据网

格间距的敏感度也相应降低,所以在改正区间的后段使用较大网格间距,对地形改正的精度影响也较小。而要提高改正区间前段的地形改正值精度,则需要相应的提高高程数据的网格密度和精度,在高程数据精度已定的情况下,较密网格高程数据才能更好地拟合地形的起伏,成了地形改正精度的关键因素。



表一表面积分法,平—平均高程法,直一直立长方体法,后接数字为 DEM 网格距,如“表 30”表示用表面积分法使用 30×30 mDEM 计算地形改正值

图 6 分段统计各方法使用不同网格 DEM 计算地形改正值误差占总绝对误差百分比

表 2 使用不同网格距 DEM 分两段计算中区地形改正值的误差

计算方法	前段/m	DEM 网格距/m	后段/m	DEM 网格距/m	误差×10 ⁻⁵ m/s ²
表面积分法	50~200	10	200~2000	30	0.004
	50~500	30	500~2000	50	0.007
平均高程法	50~200	10	200~2000	30	0.006
	50~500	30	500~2000	50	0.010
直立长方体	50~200	10	200~2000	30	0.004
	50~500	30	500~2000	50	0.011

3.2 使用不同网格距组合计算地改值和误差

将以上测点分两段,并使用不同网格距 DEM 计算地形改正值,通过不同的分段和网格距组合,计算地形改正误差,结果见表 2。

由表 2 可见,将 50~200 m 使用 10 m×10 mDEM 数据和 200~2 000 m 使用 30 m×30 mDEM 数据计算得到的中区地改值精度与全部使用 10 m×10 mDEM 数据计算得到的中区地改值精度相当;而将 50~500 m 使用 30 m×30 mDEM 数据和 500~2 000 m 使用 50 m×50 mDEM 数据计算得到的中区地改值精度与全部使用 30 m×30 mDEM 数据计算得到的中区地改值精度也是相当的。这与本文图 6

的结果相符合,由于误差主要集中在中区地形改正的前段,若将前段使用高分辨率 DEM,则地形改正精度就能提高到相应分辨率的 DEM 数据计算得到的精度。

4 结论

通过以上不同改正计算方法和不同网格间距的计算比较,笔者认为:

(1)中区地形改正误差与高程数据网格间距大小呈正比,高程网格间距越大,中区地形改正误差越大。

(2)地形改正计算方法中,表面积分法的精度

最高,受高程数据网格间距的影响较其他两种方法小,笔者建议在重力调查工作中使用表面积分法进行中区地形改正,以获得精度更高的地形改正值。

(3)由本算例可看出,50~200 m 和 200~500 m 区段是误差分布的主体,各占总误差 45%和 30%左右,此段内地形改正值受高程数据网格间距影响较大,在条件允许的情况下,应尽可能使用密集网格高程数据计算此段内地形改正值;地改后段对 DEM 分辨率的要求可适当放宽,根据地形复杂程度试验确定,网格距最大应小于 50 m×50 m。但在有条件的情况下,中区地形改正应优先使用较高网格密度的高程数据计算。

参考文献:

[1] 冯治汉.区域重力调查中的中区地形改正方法及精度[J].物探与化探,2007,31(5):455-458.

[2] 韩革命,杨亚斌,梁萌.水域地形改正方法研究[J].地球物理学进展,2012(4):1693-1700.

[3] 马国庆,孟令顺,杜晓娟.重力地形改正的计算机实现[J].吉林大学学报:地球科学版,2008(S1):36-38.

[4] 吕川川,郝天珧,徐亚.海洋重力勘探中的完全布格校正[J].地球物理学进展,2009(2):513-521.

[5] Zhou X, Zhong B, Li X.Gravimetric terrain corrections by triangular-element method[J]. Geophysics,1990, 55(2): 232-238.

[6] Okabe M. Analytical expressions for gravity anomalies due to homogeneous polyhedral bodies and translations into magnetic anomalies[J]. Geophysics,1979,44(4):730-741.

[7] 江玉乐,雷宛.地球物理数据处理教程[M].北京:地质出版社,2006.

[8] 刘立言,辛舒畅.三角面多面体重力地形改正方法[J].物探化探计算技术,1992(04):293-300.

[9] 刘天佑.位场勘探数据处理新方法[M].北京:科学出版社,2007.

[10] 曾华霖.重力场与重力勘探[M].北京:地质出版社,2005.

THE EFFECT OF THE GRID SPACING OF ELEVATION ON

THE ACCURACY OF MEDIAN REGION TERRAIN CORRECTION OF GRAVITY

ZHANG Jun, ZHANG Bao-song, DI Bing-ye, YIN Qi-chun

(Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China)

Abstract:For understanding the effect of different grid spacing intervals of DEM on terrain correction accuracy of the triangular-element method, the rectangular method and the average elevation rectangular method, the authors calculated the terrain correction values of 450 stations with different grid intervals of DEM. A comparative study shows that the effect of DEM grid spacing on terrain correction accuracy of the triangular-element method is insignificant, and things are just the opposite for the rectangular method. The authors also divided terrain correction ranges into 10 intervals and calculated the corresponding terrain correction values. Statistics show that the 45% and 30% residuals are mainly distributed in the ranges of 50~200 m and 200~500 m, and it is therefore proposed that the elevation data grid density in the ranges of 50~200 m and 200~500 m should be increased so as to increase the terrain correction accuracy.

Key words:terrain correction; DEM grid spacing; triangular-element method; rectangular method; average elevation rectangular method

作者简介:张俊(1986-),男,汉族,重庆市万州区人,硕士,2012年毕业于东华理工大学,主要从事重磁数据处理工作。