

# 基于 DEM 与重力场模型的 GPS 水准高程处理方法研究

马洪滨<sup>1</sup> 董仲宇<sup>1</sup>

(1 东北大学测绘工程系,沈阳市文化路 3 号巷 11 号,110004)

**摘 要:**提出了联合使用 DEM 模型与重力场模型的高程处理方法,用该方法处理了某市 8 800 km<sup>2</sup> 范围内的 15 个水准高程数据,并与传统方法进行了比较分析,同时进行了重力场模型的地区匹配试验。试验发现,该方法适用于比高较大、测区范围广,且水准点数目少、分布情况不好的山区。

**关键词:**DEM;重力场模型;移去-恢复

**中图法分类号:**P223.0;P228.42

省市级似大地水准面模型的建立已经成为建设数字地球和基础地理信息的重要内容,为了满足辽宁省矿产资源储量数据库建设的需要,完成矿产资源数据库建设、矿体三维模拟、矿政管理系统三个方面的工作,需要在全省建立精度满足山区 0.2 m、平原地区 0.1 m 的似大地水准面模型。但由于没有足够的资金与时间进行水准测量和重力测量,只能利用现有的国家 I、II 等低分辨率水准点进行每个市的高程处理。测区面积大、GPS 水准数据少,利用传统的数学方法进行拟合,在部分地区难以达到精度要求,如何利用现有的条件发掘好的高程处理方法就成为了工作的首要任务。本文以辽宁省本溪市为例,首次提出联合利用 DEM 模型与重力场模型的高程处理方法建立了满足精度要求的似大地水准面模型。

## 1 DEM 模型建立

选取已知水准点,构建不规则三角网 TIN,内插等高线,确定其他点的高程。从 DEM 导出等高线,主要包括两个步骤:① 利用 DEM 的高程点的高程值内插出等高线点,并将这些等高线点按顺序排列(即等高线的跟踪);② 利用这些顺序排列的等高线点的平面坐标 X、Y 进行插补,即进一步加密等高线点,并绘制成光滑的曲线(即等高线的光滑)。从 TIN 导出等高线,可直接利用原

始数据,避免了 DEM 内插精度的损失,因而等高线的精度较高,并且由于 TIN 可顾及地形特征,所以在等高线跟踪时,不必考虑地形特征。因此,根据已知点构建不规则三角网 TIN,在三角网的基础上采用相邻数据点间(即三角网边长)线性内插的方式按等高距值绘制等值线。就某条三角网边长而言,属于线性内插,但将各三角网边长上线性内插求得的同一高程等值线以三次样条拟合后得到的等值线就类似于多项式曲面拟合了。因此从原理上分析,采用 DEM 模型创建的高程异常等值线图应该与多项式曲面拟合法求得的结果相近,但由于多项式曲面拟合对点位的分布要求比较高,而利用 DEM 模型建立数字地面模型(DTM)灵活性比较大,对于拟合点比较少的测区,有一定的实用价值。本文利用已知点坐标与高程数据进行数据组织,利用 Cass 的 DEM 模块构建三角网 TIN,利用模块自动生成等值线,利用其余检核点对等值线进行检核,并对最终模型进行优化改进,最终生成 DEM 内插模型。

## 2 顾及重力场模型的移去-恢复法

在 WGS84 椭球下,设  $h$  为相对于 GPS 参考椭球的大地高, $H$  为某高程系统基准的正常高,则同一点上的高程异常为<sup>[1,2]</sup>:

$$N = h - H \tag{1}$$

两点间的差值为:

$$\Delta N = \Delta h - \Delta H$$

(2)

式中,  $N$  为测量点的高程异常。

若要提高该方法的精度, 可以使用以下办法, 即

$$N = N_{GM} + N_{\Delta g} + N_T$$

(3)

或

$$N_{\Delta g} = N - N_{GM} - N_T$$

(4)

其中,  $N_{GM}$  为长波部分, 由重力场模型计算;  $N_{\Delta g}$  为中波部分, 由地面重力异常 Stokes 积分求得;  $N_T$  为地形改正, 由 DTM 求得;  $N$  由 GPS/水准观测值求得。利用局部或区域内一定数量的  $N_{\Delta g}$  值, 就可以内插出所需要点的  $N_{\Delta g}$ , 记为  $N'_{\Delta g}$ , 则有:

$$N' = N'_{GM} + N'_{\Delta g} + N'_T$$

(5)

本文采用的大地高是利用 GPS 直接采集的相对于 WGS84 椭球的数据, 而 EGM96 模型也是相对于 WGS84 椭球的, 这样在参考基准上避免了因参考椭球的不同而对拟合结果产生的影响。利用 EGM96 模型可以有效地剔除数据中的长波项, 但由于本溪地区没有重力数据和 DTM 数据, 无法进行中波段和地形改正项的有效分离<sup>[3,4]</sup>, 所以本文将  $N_T$  和  $N_{\Delta g}$  合并处理, 得:

$$N' = N'_{GM} + N''$$

(6)

$N''$  为实际高程异常与重力场模型计算得到的高程异常的差值。

通过已知若干个 GPS 点的正常高, 可利用移去-恢复法求得其他待求 GPS 点的高程异常。具体步骤如下<sup>[5]</sup>: ① 移去, 在已知水准点上, 利用重力场模型计算  $N_{GM}$ , 按照式(6)求取  $N''$ , 则实际高程异常与模型求得的高程异常的差值  $N''$  为已知。② 拟合, 利用求得的  $N''$  作为起算数据, 采用 DEM 模型等值线内插的方法计算出其他未知点的  $N''$ 。③ 恢复, 在未知点上, 利用重力场模型求取  $N_{GM}$ , 再加上由拟合模型计算的  $N''$  进而求得未知点上的高程异常, 从而求得正常高。

3 数据处理与分析

3.1 重力场模型匹配分析

计算局部大地水准面时, 选择最适合本地区的高阶全球重力场模型作为参考重力场是非常必要的。在 WGS84 椭球下, EGM96 被公认是目前同阶次模型(360 阶)中最好的, OUS91 也是 360 阶全球重力场模型, 因此, 在该地区大地水准面的计算中, 利用已知高精度 GPS 水准数据对这两个重力场模型进行比较和评价, 从而为计算该地区高精度大地水准面选择最适合本地区的参考

重力场模型。本文利用 EGM96 重力场模型与 OUS91 重力场模型分别对数据进行了适应性试验(图 1), 并统计了两种模型的模型值与真实值的差值(图 2)。

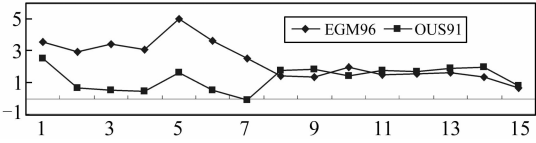


图 1 重力场模型匹配试验  
Fig. 1 Gravity Model Matching Experiment

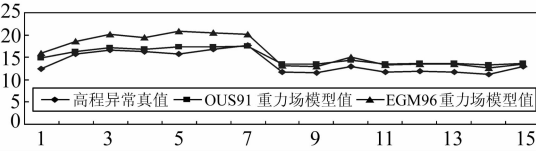


图 2 模型值与真实值的差  
Fig. 2 Difference of Model Result and Real Result

1、2、3、4、5、6、7 号水准点位于测区东半部, 地形变化复杂, 高差比较大, 其他点位于测区西半部, 地势变化比东部平缓。从图 2 可以看出, 两种模型值在测区东半部相差不大, 而在西半部相差较大, 因此, EGM96 模型更适合于测区西部, 而 OUS91 适合于测区东部。但并非先进的重力场模型比传统的模型更适合于所有地形, 因为重力数据的多少对重力场模型的精度有直接影响。考虑到后期数据的处理, 这里统一采用 EGM96 模型进行处理。利用 360 阶 EGM96 重力场模型反演了测区范围内(经度从  $E123^\circ$  到  $E126^\circ$ 、纬度从  $N40^\circ$  到  $N42^\circ$ )的重力大地水准面, 如图 3 所示。

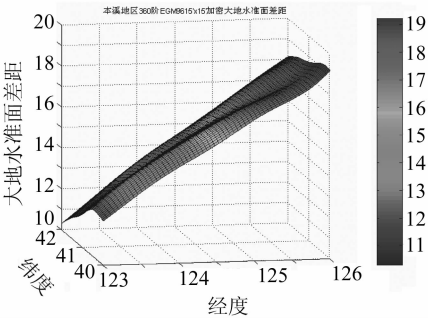


图 3 360 阶 EGM96 重力场模型反演  
大地水准面三维图  
Fig. 3 Geoid 3D Chart Demonstrated by 360 Degree  
EGM96 Gravity Model

3.2 数据处理与结果分析

1) 利用 DEM 模型进行顾及重力场模型的移去-恢复结果与不加重力场模型的 DEM 内插结果的精度对比。利用 9 个水准点作为模型点建立数

字地面 DEM 内插模型,6 个点进行结果精度检验。

图 4(a)为利用高程异常真实值建立 DEM 模型后直接内插检核点的高程异常值和经过顾及重力场模型移去-恢复处理后的高程异常值与真实值的差。误差结果见表 1。

从图 4(a)可以看出,对重力场长波数据进行剔除后,得到的结果要比不加重力场模型的 DEM 内插方法精度高,能够得到 2 dm 以内精度的高程异常值,满足了工程项目的要求。

2) 利用常规拟合模型<sup>[5]</sup>,进行顾及重力场模型的结果与不加重力场模型 DEM 内插方法结果的精度对比。采用分区拟合的办法,右半区利

用三点平面拟合,左半区利用二次曲面拟合,其余点进行检核。

图 4(b)为利用常规拟合模型直接拟合的高程异常值和经过顾及重力场模型移去-恢复处理后的高程异常值与真实值的差。误差结果见表 1。

表 1 精度对比/m  
Tab. 1 Comparison of Precision

处理方法	最大误差	最小误差	中误差	平均值
DEM 内插	0.469	-0.163	0.352	0.251
移去-恢复法	0.193	-0.195	0.155	0.114
常规拟合	0.597	-0.266	0.389	0.32
移去-恢复法	0.429	-0.103	0.274	0.219

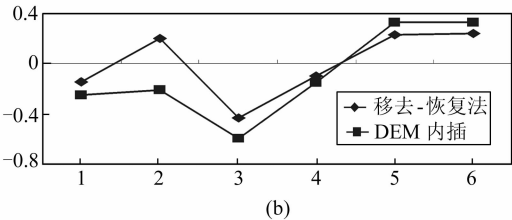
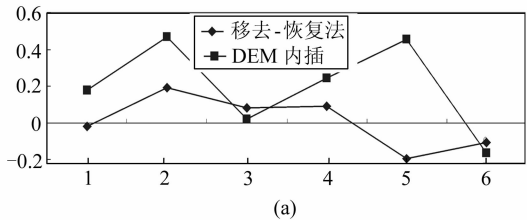


图 4 误差统计  
Fig. 4 Error Statistics

从表 1 可以看出,利用重力场模型联合处理测区的高程数据,可以将精度提高 1 dm,利用 DEM 模型作为拟合模型得到的结果要比常规拟合模型的好,精度要优于近 1 dm,结合 DEM 模型与重力场模型的移去-恢复法可以将利用传统拟合转换方法求得的似大地水准面精度提高近 2 dm,所以在水准数据不多、分布不好的大面积测区内,利用 DEM 模型代替常规拟合模型可以得到更高精度的高程数据。在图 4(b)中,1、2、3 点位于分区平面拟合区域内;4、5、6 点位于二次曲面拟合区域内,可以看出,利用重力场模型进行移去-恢复处理后,可以有效地提高平面拟合的精度。对于二次曲面拟合,精度改善的情况不如平面拟合的好。

## 4 结 语

通过对利用常规拟合模型、DEM 内插模型、移去-恢复法求得的结果进行比对分析可以看出,利用基于 DEM 与重力场模型的 GPS 水准高程处理方法后,不但节省了资金与劳力,还有效地提高了高程处理结果的精度。利用该方法在现有的水准点分布条件下求定了测区内所有矿山的基准高程,满足了辽宁省矿产资源储量数据库建设的需要,为矿产资源数据库建设、矿体三维模拟、矿政管理

系统三个方面的工作提供了可靠的高程基准。

## 参 考 文 献

[1] 陶本藻. 大范围 GPS 水准拟合模型的选取及其实验研究[J]. 工程勘察, 2005(1): 12-16

[2] 徐绍铨. GPS 高程拟合系统的研究[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1999, 24(4): 12-15

[3] 曾元武. EGM96、WDM94 和 GPM98CR 高阶地球重力场模型表示深圳局部重力场的比较与评价[J]. 测绘学报, 2002(4): 23-27

[4] Smith D A. There is No Such Thing as “The EGM96” Geoid: Subtle Points on the Use of a Global Geopotential Model [C]. International Geoid Service, Milan, Italy, 1998

[5] 王解先. 顾及 EGM96 模型的 GPS 水准高程拟合[J]. 测绘工程, 2002(9): 29-33

[6] 王承华, 马洪滨, 董仲宇. GPS 水准多项式曲面拟合模型的优选实验研究[J]. 矿山测量, 2007(1): 35-37

[7] 罗志才, 宁津生. 高分辨率厘米级局部大地水准面的典型应用[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(5): 35-39

[8] 宁津生. 深圳市 1 km 高分辨率厘米级高精度大地水准面的确定[J]. 测绘学报, 2003(5): 27-32

第一作者简介:马洪滨, 副教授。研究方向为数字矿山和 3S 应用。  
E-mail: neu\_mhb@163.com

proved Landsat-Based Forest Mapping in Deep Mountainous Terrain Using Object-Based Classification[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 183: 31-46

[5] Gercek D. Improvement of Image Classification with the Integration of Topographical Data[OL]. <http://www.isprs.org/istanbul2004/yf/papers/929.pdf>, 2004

[6] 刘小平,彭晓鹃,艾彬. 像元信息分解和决策树相结合的影像分类方法[J]. 地理与地理信息科学, 2004,20(6):35-39

[7] Huang Wei, Li Pingxiang. A Topographic Correction Approach by Using Spatial Context Information [C]. The 26th Asian Conference on Remote Sensing, Hanoi, Vietnam, 2005

第一作者简介:黄微,博士生。研究方向为遥感影像处理、地形校正。  
E-mail:lyx800925@hotmail.com

## Classification of Imagery in Rugged Terrain Based on Topographical Area Segmentation

HUAGN Wei<sup>1</sup> ZHANG Liangpei<sup>1</sup> LI Pingxiang<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** A classification method based on topographical area segmentation is proposed. In the method, the disturbed areas of objects are divided by topographical features and the area-based classification with MLC is applied in the image. Meanwhile, the topographical correction with DEM data is adopted in order to decreasing the scatter of spectrum in the same or the similar objects caused by irregular terrain. The experiment by a landsat image in west of Hubei province proved that the results of area-based classification have obvious improved than that of the traditional spectral classification.

**Key words:** classification of imagery; topographical segmentation; DEM

About the first author: HUANG Wei, Ph. D candidate, majors in image processing from remote sensing and topographic correction.  
E-mail: lyx800925@hotmail.com

+++++

(上接第 769 页)

## GPS Level Height Manage Method Based on DEM and Gravity Model

MA Hongbin<sup>1</sup> DONG Zhongyu<sup>1</sup>

(1 Department of Surveying Engineering, Northeast University, 3 Wenhua Road, Shenyang 110004, China)

**Abstract:** The height manage technique using DEM model and gravity model together is put forward, and this technique is used to manage one city fifteen level height data in 8 000 km<sup>2</sup>. The result is compared with that of tradition technique, and the gravity model matching test is done at the same time. The experimental result shows that the technique to be the same with the mountainous area where is very wide and there is not enough level height data.

**Key words:** DEM; gravity model; remove-restore

About the first author: MA Hongbin, associate professor, majors in 3S application and theoretics.  
E-mail: neu\_mhb@163.com