

# 数据源对大地水准面精度的影响分析

李新法<sup>1</sup> 陈永立<sup>1</sup> 马会林<sup>2</sup>

(1. 河北省第一测绘院 河北 石家庄 050031; 2. 河北省第二测绘院 河北 石家庄 050031)

## Analysis of Effect of Data Source on Geoid Accuracy

LI Xinfa, CHEN Yongli, MA Huilin

摘要: 组合法是目前我国省市进行大地水准面精化普遍采用的方法。通过对大地水准面精化时所用到的各种数据源进行分析, 探讨各数据源对大地水准面精度的影响, 并提出提高大地水准面精度的办法。

关键词: 大地水准面; 重力; GPS 水准

### 一、引言

通过建立高精度、高分辨率的大地水准面, 并结合 GPS 技术测定的精确的大地高, 可以取代传统的水准测量方法测定正高或正常高, 真正实现 GPS 技术在几何和物理意义上的三维定位功能, 使平面控制网和工程控制网分离的传统大地测量技术成为历史, 为构建“数字城市”、“数字区域”和“数字地球”提供高效的数字采集技术。目前, 局部大地水准面精化普遍采用组合法, 即以 GPS 水准所确定的高精度但分辨率较低的几何大地水准面作为控制, 将以重力学方法确定的分辨率但精度较低的重力大地水准面与之拟合, 以达到精化局部大地水准面的目的。

先进的计算方法可以正确有效地利用不同类型的重力场相关信息和数据, 但(似)大地水准面计算的最终成果的分辨率和精度主要取决于数据的质量、分辨率和精度<sup>[2]</sup>。本文重点探讨在建立城市高分辨率、高精度(似)大地水准面时数据采集和数据利用时应注意的几个问题。

### 二、组合法大地水准面精化的基本原理

我国省市级大地水准面的精化主要采用移去-恢复原理 FFT 技术(1D/2DFFT), 辅以多项式拟合法或其他拟合方法。在实际计算中通常采用分步计算方法, 即首先应用移去-恢复原理和 1DFFT 技术计算重力大地水准面, 然后以高精度的 GPS 水准数据作为控制, 采用多项式拟合法或其他拟合方法将重力大地水准面拟合到由 GPS 水准确定的几何

大地水准面上, 旨在消除这两类大地水准面之间的系统偏差。一般说来, 消除系统误差后的重力大地水准面与 GPS 水准之间仍存在残差, 这些残差包含了部分有用信息。可再利用 Shepard 曲面拟合法、加权平均法及最小二乘配置等对这些剩余残差进行格网拟合, 并将拟合结果与消除系统误差之后的重力大地水准面叠加, 从而得到大地水准面的最终数值结果。

组合法大地水准面的计算流程如图 1 所示。

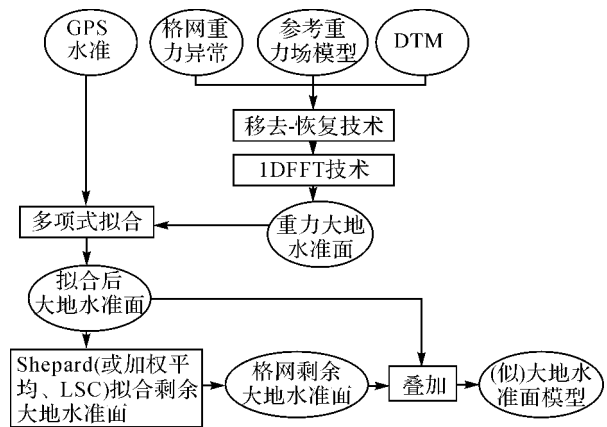


图 1 组合法大地水准面计算流程图<sup>[2]</sup>

### 三、数据源影响

#### 1. 重力数据

实测重力的目的是利用重力点数据和地球重力场模型计算的离散点的高程异常值, 进行拟合得到重力大地水准面。为满足 Stokes 理论, 必须将实测重力值归算至大地水准面, 而后与椭球面上的正

收稿日期: 2011-04-22

作者简介: 李新法(1964—), 男, 河北赵县人, 高级工程师, 主要研究方向为大地测量。

常重力  $\gamma_0$  相减得到空间重力异常  $g_0 - \gamma_0$  ,即

$$g_0 - \gamma_0 = g - \gamma_0 + \Delta g \quad (1)$$

式中  $g$  为实测重力值;  $\Delta g$  为空间改正。

常用的正常重力公式有基于克拉索夫斯基椭球体及基于 1975 国际椭球(即 1980 西安坐标系所采用的椭球)的正常重力公式,分别为

$$\gamma_0 = 978\,030(1 + 0.005\,302\sin^2 B - 0.000\,007\sin^2 2B) \quad (2)$$

$$\gamma_0 = 978\,032.68(1 + 0.005\,302\,4\sin^2 B - 0.000\,005\,8\sin^2 2B) \quad (3)$$

基于 CGCS2000 参考椭球的正常重力公式为

$$\gamma_0 = 978\,032.533\,49(1 + 0.005\,302\,44\sin^2 B - 0.000\,005\,82\sin^2 2B) \quad (4)$$

式(2)~式(4)中 纬度  $B$  一般采用 GPS 技术获得,可直接利用重力点在 WGS-84 坐标系下的纬度。

采用式(2)~式(4)计算的椭球面上的正常重力值会有差异,如果将纬度为  $30^\circ$  和  $40^\circ$  分别代入式(2)~式(4),所计算的正常重力值如表 1 所示。

表 1 不同椭球下的正常重力值 mGal

| 纬度 / ( $^\circ$ ) | 基于克氏椭球     | 基于 1975 国际椭球 | 基于 CGCS 2000 椭球 |
|-------------------|------------|--------------|-----------------|
| 30                | 979 321.24 | 978 032.68   | 978 032.53      |
| 40                | 980 165.89 | 980 169.88   | 980 169.73      |

由表 1 可以看出,基于克氏椭球的正常重力公式与后两者计算的差值较大,而后两者比较接近(差值在 0.1 mGal)。这些差异只是在绝对值上的差异,从宏观上讲,大地水准面精化是要将重力水准面与 GPS 水准所确定的大地水准面进行拟合,因此不会对最终结果产生影响。

对于空间改正  $\Delta g$ ,其计算公式为

$$\Delta g = 0.308\,6(1 + 0.000\,7\cos 2B)h - 0.72 \times 10^{-7}h^2 \quad (5)$$

式中  $h$  为正常高。对于城市小区域内的大地水准面精化来说可以统一采用 1956 年黄海高程基准面上的正常高,或统一采用 1985 国家高程基准面上的正常高,计算出的大地水准面则对应于相应的高程基准。但为了高程系统的统一,建议采用 1985 国家高程基准的正常高。

## 2. GPS 水准数据

GPS 水准数据的好坏决定着大地水准面的精度,一般认为内插点高程异常推估值的误差  $m_c$  主要来自两个方面:① 起始误差,即已知点高程异常值的误差  $m_0$ ;② 内插点所在栅格内高程异常非

均匀变化所引起的误差  $m_g$ 。故有

$$m_c^2 = m_0^2 + m_g^2 \quad (6)$$

当 C 级与 B 级 GPS 网点相距在 150 km 以内时,起算数据误差是一个比较稳定的值,主要还是由 C 级 GPS 网格大小( $d$ )、所在地区地形( $c$ )和重力格网大小( $\lambda$ )这 3 个因素决定内插点高程异常推估值的精度,三者之间的关系为

$$d = 7.15m_g c^{-1} \lambda^{-1/2} \quad (7)$$

在我国平原、丘陵、山区和高山区的  $c$  值分别等于 0.54、0.81、1.08 和 1.50。如果起始误差  $m_0$  为  $\pm 1$  cm,当所在地区平均重力异常网格分辨率  $\lambda$  分别为  $30'$ 、 $15'$ 、 $10'$ 、 $5'$ 、 $2'$ 、 $1'$  时,若要求该地区内插点高程异常推估值的精度  $m_c$  为  $\pm 2$  cm,则要求 C 级 GPS 水准网(格)分辨率  $d$ ,即该 GPS 水准网点的平均间距,在不同地形地区中的最低要求如表 2 所示。

表 2 不同地形地区的 GPS 水准网点间距( $d$ )要求 km

| 不同地形的地区 $c$ | 平均重力异常栅格的分辨率 $\lambda$ / ( $'$ ) |    |    |    |    |    |
|-------------|----------------------------------|----|----|----|----|----|
|             | 30                               | 15 | 10 | 5  | 2  | 1  |
| 平原          | 4                                | 5  | 7  | 10 | 16 | 22 |
| 丘陵          | 7                                | 6  | 5  | 4  | 3  | 3  |
| 山区          | 4                                | 4  | 4  | 5  | 5  | 6  |
| 高山区         | 4                                | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |

由表 2 可以看出,重力异常的栅格分辨率越高,同一地形的地区所要求的 C 级 GPS 点的间距越大,即可以通过增加实测重力值的分辨率来减少 GPS 水准点的密度。但式(7)假定起始误差为  $\pm 1$  cm,而起始误差的正确与否,将直接决定内插点高程异常的精度。因此,在布设 GPS 水准网点时,一定要对起始误差有准确的判断和计算。

为提高 GPS 水准点大地高的精度,可以采取缩短基线距离、增加观测时段、延长观测时间、对 C 级网采用精密星历进行处理等方法,还可以采取提高观测等级的方法来提高正常高的精度。同时,应重视选点埋石的质量,通过对网形的优化设计,使控制网的网形和结构具有良好的强度。GPS 测量和水准测量应尽量同期观测,以避免 GPS 椭球高与精密水准测量的时间跨度较大,以及地面沉降等原因,造成求得的大地水准面或高程异常存在系统偏差,从而增加数据处理的难度。同时,为了统一基准,城市 GPS 水准网还应与国家高等级点联测,以保持数据资料的一致性。

此外,为使测绘信息资源共享,并与国家现代

大地测量基准及地理空间基础框架一致,形成统一的标准,高程应采用 1985 国家高程基准, GPS 网应在 CGCS 2000 的参考框架和历元下进行网平差。在此基础上, 椭球高可采用 WGS-84 或 CGCS2000 椭球(因两椭球仅在  $f$  值上有微小差异,在赤道上仅差 1 mm,可以认为两个椭球是一致的<sup>[1]</sup>),两者对实际高程值几乎没有影响。表 3 列出了在中纬度地区同一点位在 ITRF97 框架、2000.0 历元下对于 WGS-84 椭球和 CGCS2000 椭球下的大地高的差值。

表 3 同一点位在 WGS-84 或 CGCS2000 椭球下的椭球高比较

| 点号 | WGS-84<br>椭球高/m | CGCS2000<br>椭球高/m | 两者差值<br>/mm |
|----|-----------------|-------------------|-------------|
| 1  | 1.617 26        | 1.617 30          | -0.04       |
| 2  | 16.037 83       | 16.037 87         | -0.04       |
| 3  | -0.178 99       | -0.178 95         | -0.04       |
| 4  | 3.279 02        | 3.279 06          | -0.04       |
| 5  | 1.448 99        | 1.449 03          | -0.04       |
| 6  | 63.556 10       | 63.556 15         | -0.05       |
| 7  | 61.975 32       | 61.975 36         | -0.04       |
| 8  | 23.957 24       | 23.957 28         | -0.04       |
| 9  | 4.689 27        | 4.689 31          | -0.04       |
| 10 | 0.496 82        | 0.496 86          | -0.04       |
| 11 | 22.076 47       | 22.076 49         | -0.02       |
| 12 | 25.904 27       | 25.904 30         | -0.03       |

### 3. 数字地形模型数据

高分辨率的数字地形模型包含了地球重力场模型的高频信号,是计算高分辨率高精度大地水准面的重要信息。目前城市大地水准面精化一般利用分辨率为 100 m 或更高分辨率的 DTM 模型,在构建大地水准面模型时,DTM 的质量在一定程度上决定着大地水准面的质量。因此,在使用时一定要对

DTM 的质量进行检核,同时,应尽可能利用构建时间较短的 DTM 模型。

### 4. 全球高阶重力场模型

当采用移去-恢复技术计算城市大地水准面时,应利用实测高精度重力和 GPS 水准数据用不同的高阶重力场模型进行比较和分析,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。如在表达深圳重力场方面 WDM94 要略优于 EGM96 和 GPM98CR,因而选择 WDM94 作为计算深圳 1 cm 级大地水准面的参考重力场模型。而我国 CQG2000 则采用的是 EGM96 全球重力场模型。

## 四、结束语

对于区域性似大地水准面精化,应充分考虑 GPS 水准点大地高和正常高的精度及各种数据、模型的可靠性,GPS 水准点应尽量利用 CGCS2000 所采用的参考框架和历元及 1985 国家高程基准下的正常高,以使区域基准与国家基准相统一。

### 参考文献:

- [1] 中国科学技术协会. 2006—2007 测绘科学技术学科发展报告[M]. 北京:中国科学技术出版社,2007.
- [2] 宁津生,刘经南,陈俊勇,等. 现代大地测量理论和技术[M]. 武汉:武汉大学出版社,2006.
- [3] 管泽霖,宁津生. 地球形状及外部重力场[M]. 北京:测绘出版社,1981.
- [4] 魏子卿. 关于 2000 中国大地坐标系的建议[J]. 大地测量与地球动力学,2006,26(2):1-4.
- [5] 陈俊勇. GPS 水准网格间距的设计[J]. 大地测量与地球动力学,2004,24(1):1-3.
- [6] 宁津生,罗志才,李建成. 我国省市级大地水准面精化的现状和技术模式[J]. 大地测量与地球动力学,2004,24(1):4-8.

## 《贝叶斯网络在影像解译中的应用》出版

[本刊讯] 由虞欣所著的《贝叶斯网络在影像解译中的应用》一书,已于 2011 年 6 月由测绘出版社出版。

该书在系统分析和总结贝叶斯网络基本理论和方法的基础上,探讨如何将贝叶斯网络应用于影像纹理分类中,并进一步拓宽它在该领域中的应用。其主要内容包括:基于贝叶斯网络的特征选择方法、基于贝叶斯网络的影像纹理分类模型、引入简单图像语义信息的影像纹理分类的贝叶斯网络方法和带有相关反馈的影像纹理分类的贝叶斯网络方法。该书在借助贝叶斯网络能够描述随机变量之间因果关系的优势进行特征选择,针对航空影像中的居民地和灌木两种典型地物提取语义信息,以及将控制论中的控制与反馈思想引入训练样本的选择过程等方面都颇有特色。

该书可供从事摄影测量与遥感、人工智能、模式识别、知识发现、机器学习、图像理解、信息处理等专业的科研人员和大专院校相关专业的师生学习参考。

该书为 16 开本,定价 32.00 元。

(本刊编辑部)