

· 其他 ·

EGM2008 地球重力场模型精度分析与评价

张精明* 闫建强 王福民

(中国石油东方地球物理公司综合物化探事业部测绘服务中心, 河北涿州 072751)

张精明, 闫建强, 王福民. EGM2008 地球重力场模型精度分析与评价. 石油地球物理勘探, 2010, 45(增刊 1): 230~233

摘要 本文简要介绍了最新超高阶地球重力场模型 EGM2008(Earth Gravitational Model), 该模型的阶次达到 2159, 且提供扩展到 2190 阶的参数。结合国内三个代表区域实测 GPS/水准数据, 对 EGM2008 的模型精度进行了分析与评价, 得知各区域内 EGM2008 模型计算高程与我国高程系统水准高程对比误差精度均在 1m 以内, 可满足电法、磁法和化学勘探对高程精度的要求; 对于重力勘探, 则基于 EGM2008 模型, 利用测区内部分水准点对 GPS 物理点高程进行平差校正或曲面拟合, 即可得到各物理点的测量成果。

关键词 EGM2008 重力场 GPS/水准 高程异常 精度

1 引言

EGM2008 是近来由美国 NGA(National Geospatial-intelligence Agency)重力场研发小组发布的官方版高阶地球重力场模型, 该模型的球谐展开阶数达到了 2159, 目的是通过在 WGS84 坐标系下解算地球水准面的起伏。该模型采用了 GRACE 卫星跟踪数据、卫星测高数据和地面重力数据等, 使得该模型无论在精度还是在分辨率方面均取得了巨大的进步^[1]。GRACE 是由美国和德国联合开发并于

2002 年 3 月发射的重力卫星, 其研究目标是精确测定中长波地球重力场的静态部分, 并以 2~4 个星期为周期分析和测定地球重力场的变化, GRACE 卫星跟踪数据代表卫星在地球重力场中受到的摄动; 卫星测高数据可提供精确的海洋重力场; 地面重力数据为重力场提供更为直接的测量成果。

EGM2008 模型空间分辨率目前主要有 10'、5'、2.5' 和 1' 四种, 本文采用分辨率为 1'(约 1.8km) 的 EGM2008 模型数据, 通过三个区域的 GPS/水准数据对 EGM2008 模型的精度进行外部检核, 同时与 EGM96 模型(分辨率 15') 进行了对比。结合石油

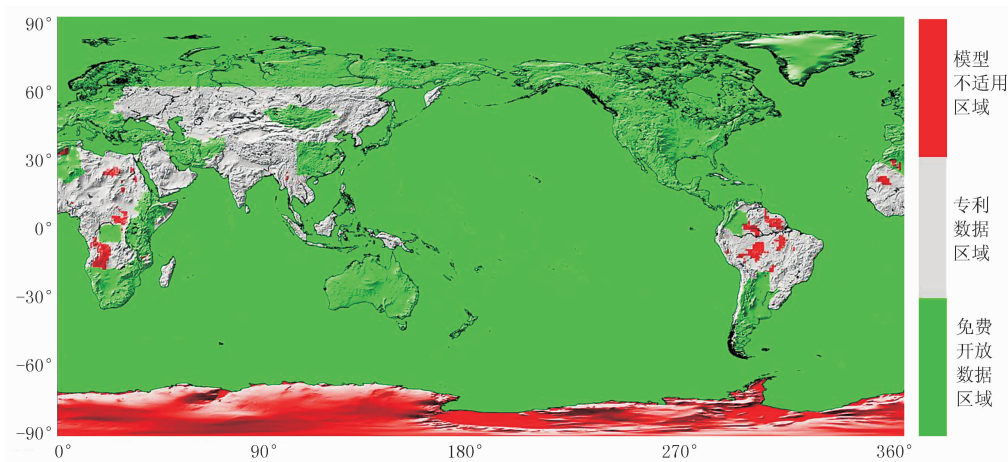


图1 EGM2008 模型数据可用性分布图(空间分辨率 5')

红色、灰色和绿色区域依次占陆地的 12.0%、42.9% 和 45.1%

* 河北省涿州市东方地球物理公司综合物化探事业部测绘服务中心, 072751

本文于 2009 年 4 月 23 日收到, 修改稿于同年 10 月 27 日收到。

物探测量对重力、磁法、电法和化学勘探的精度要求,得到在实际勘探中有借鉴意义的结论。

2 技术原理

地球表面上任意一点 P 的高程异常 ξ 根据以下 Bruns 公式^[2,3]

$$\xi_P(\varphi, \lambda, \rho) = \frac{GM}{\rho\gamma_P} \sum_{n=2}^N \left(\frac{a}{\rho}\right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm} \sin\varphi \quad (1)$$

获得。式中: ρ, φ, λ 分别为点 P 的地心向径、地心纬度和经度; G, M 分别为引力常数和地球质量; γ_P 为计算点 P 的正常重力值; a 为参考椭球的长半轴,在实际计算中取相对于 GRS80 的值; $\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ 为完全规格化位系数,其中偶次带谐系数代表实际引力位与正常引力位的系数之差; $\bar{P}_{nm} \sin\varphi$ 为完全规格化 Legendre 函数; N 为地球重力场模型展开的最高阶数。

GPS/水准这一合成词,本是 GPS 测量和水准测量相结合的意思。通过 GPS 测量可得到地面点的大地高 H ,由水准测量可得到该点的正常高 h ,该点的高程异常为 ξ 。它们之间存在以下关系

$$H = h + \xi \quad (\text{或 } H = h' + N) \quad (2)$$

式中: h' 为正高; N 为大地水准面差距。

GPS/水准具有以下双重含义:已知地面某点大地高 H 和高程异常 ξ (或大地水准面差距 N),来求取正常高 h (或正高 h'),这种方法称为“GPS/水准”高程测量,该方法求得的 h 的精度可达到三、四等水准精度;已知 H 和 h (或 h'),求取 ξ (或 N),这种方法称为 GPS/水准测量,该方法广泛应用于精化大地水准面或似大地水准面领域。

3 精度评定方法

为了分析 EGM2008 模型的精度,采取以下两种方案进行精度评定。

方案 1 以水准点高程作为“标准值”,统计分析各区域常规高程 h 与 GPS 转换高程 h_G 之差的离散度。计算公式如下^[4]

$$\Delta = h - h_G \quad (3)$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (4)$$

方案 2 由于我国高程系统主要采用 1956 年国家高程基准或 1985 国家高程基准,这些高程系统和全球大地水准面存在一定的偏差,称为系统偏差 ΔH_0 。若由 GPS 测量技术确定了地面 i 点大地高 H_i ,由地球重力场模型求得该点的模型高程异常 ξ_i ,则该点的正常高 h_i 计算公式如下^[5]

$$h_i = H_i - \xi_i - \Delta H_0 \quad (5)$$

ΔH_0 的大小可由下式进行估计^[5]

$$\overline{\Delta H_0} = \sum_{i=1}^n \frac{H_i - h_i - \xi_i}{n} \quad (6)$$

结合式(5)和式(6),得出利用 GPS/水准数据对全球重力场模型的精度计算公式^[5]

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n H_i - \xi_i - \overline{\Delta H_0} - h_i}{n-1}} \quad (7)$$

式中 n 为 GPS/水准点总数。

4 数据计算与分析

为更好地评价 EGM2008 模型的精度,笔者选取新疆乌鲁木齐、吉林长春和浙江嘉兴三个有代表性区域的数据。参与计算的国家等级水准点都纳入了石油物探 GPS 首级控制网中,平差计算的起算点均采用国家或地方高等级 GPS 控制网点成果,从而保证了 WGS84 坐标系统大地高的精度。

首先根据 EGM2008 和 EGM96 模型计算每个 GPS/水准点的高程异常,该高程异常是相对于地心系统 WGS84 椭球。然后采用上面提及的两种方案对模型精度进行分析:①以每个 GPS/水准点已知高程为“标准值”,利用式(2)求得每个点的正常高,再用式(3)和式(4)进行精度统计(该方案虽没有考虑系统偏差,但对比结果较直观);②利用式(6)对系统偏差进行估计后,再据式(7)评定模型精度。

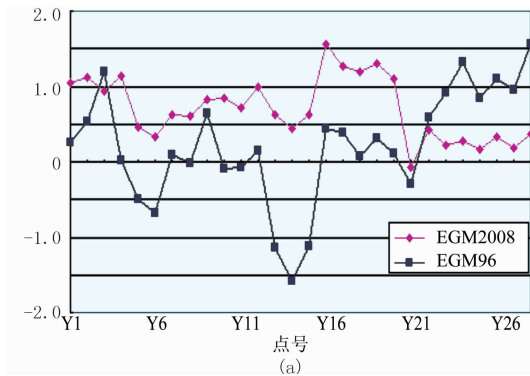
4.1 乌鲁木齐 GPS/水准数据

利用测区 GPS 首级控制网内联测的 28 个国家水准点,并利用上述两种方案求取的模型计算高程和水准高程的直接差、平均值(绝对值)和中误差统计,其精度统计数据见表 1,误差分析数据见图 2。

对于乌鲁木齐数据, GPS/水准点高程(1956 黄海高程系)与 EGM2008 模型和 EGM96 模型的偏差均在 0.8m 左右, EGM2008 的收敛程度均优于 EGM96 模型;而且在地形起伏较大的区域(Y13、

表 1 乌鲁木齐数据精度计算统计表(单位:m)

模型计算高程和 GPS/水准高程对比精度统计(方案 1)				
模型	互差最大值	互差最小值	平均值	中误差
EGM96	1.574	0.011	0.606	0.773
EGM2008	1.554	0.080	0.707	0.812
地球重力场模型精度评定统计(方案 2)				
模型	互差最大值	互差最小值	平均值	中误差
EGM96	1.788	0.051	0.576	0.742
EGM2008	0.853	0.114	0.351	0.408



Y14 和 Y15 号点),EGM2008 模型的精度提高更为明显。

同时,为确保 WGS-84 大地高的精度,对 GPS 首级控制网中起算点采用精密单点定位 Trip 软件进行了验证,垂直方向误差仅为 0.023m。

4.2 长春市 GPS/水准数据

利用 GPS 首级控制网内联测的 8 个国家水准点进行精度评定,控制网起算点是 2000 年国家 GPS 控制点成果,GPS/水准点高程系统属于 1956 年黄海高程系,其数据统计结果见表 2 和图 3。

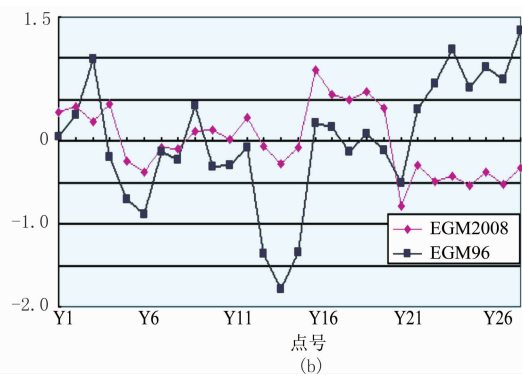


图 2 乌鲁木齐数据误差分布离散图

(a)方案 1; (b)方案 2

表 2 长春数据精度计算统计表(单位:m)

模型计算高程和 GPS/水准高程对比精度统计(方案 1)				
模型	互差最大值	互差最小值	平均值	中误差
EGM96	1.040	0.144	0.517	0.599
EGM2008	0.699	0.106	0.484	0.534
地球重力场模型精度评定统计(方案 2)				
模型	互差最大值	互差最小值	平均值	中误差
EGM96	0.523	0.021	0.242	0.323
EGM2008	0.378	0.023	0.192	0.243

对于长春数据,EGM2008 和 EGM96 模型与 1956 年黄海高程系统的偏差在 0.5~0.6m 之间;在估计系统偏差后,两个模型的精度都有所提高。可见 EGM2008 模型显然优于 EGM96 模型。

4.3 嘉兴市 GPS/水准数据

利用 GPS 首级控制网内联测的 8 个国家水准点进行精度评定,控制网的起算数据采用城市 C 级 GPS 控制点成果,GPS/S 水准点高程系统属于 1985 国家高程基准,其数据统计结果见表 3 和图 4。

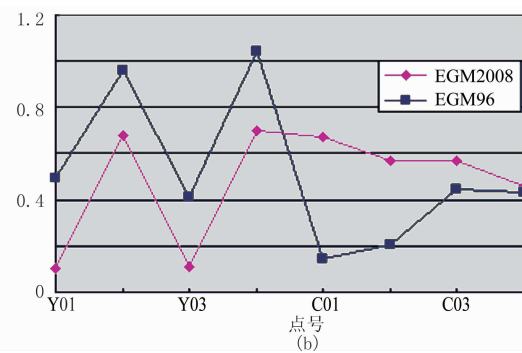
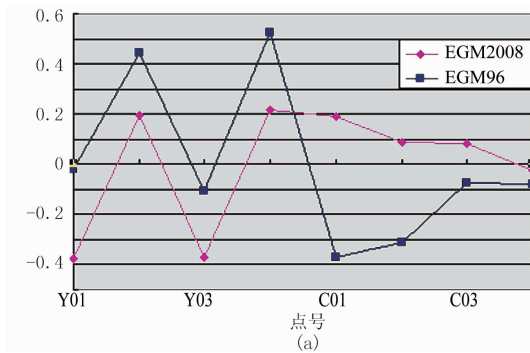


图 3 长春数据误差分布离散图

(a)方案 1; (b)方案 2

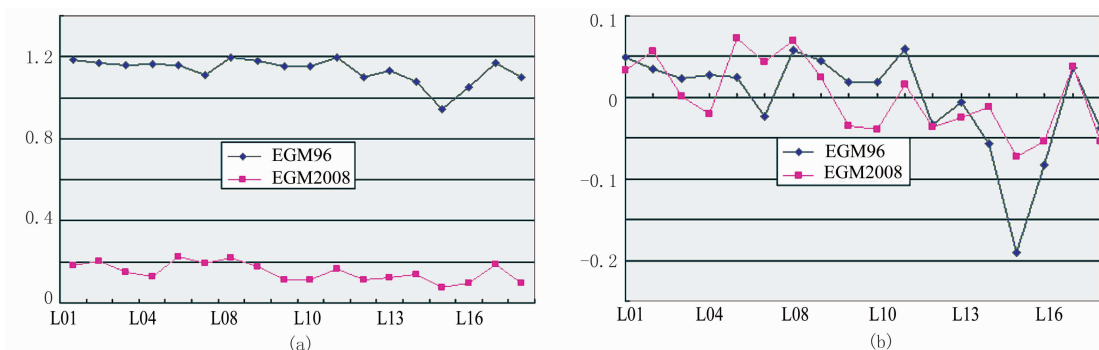


图 4 嘉兴数据误差分布离散图

(a)方案 1; (b)方案 2

表 3 嘉兴数据精度计算统计表(单位:m)

模型计算高程和 GPS/水准高程对比精度统计(方案 1)				
模型	互差最大值	互差最小值	平均值	中误差
EGM96	1.194	0.946	1.134	1.135
EGM2008	0.223	0.077	0.150	0.156
地球重力场模型精度评定统计(方案 2)				
模型	互差最大值	互差最小值	平均值	中误差
EGM96	0.190	0.006	0.046	0.06
EGM2008	0.073	0.002	0.039	0.045

对于嘉兴数据,采用 EGM2008 模型与我国 1985 高程系统符合较好,模型计算高程和 GPS/水准高程直接差最大值仅为 0.023m,最小值为 0.077m,EGM96 模型与 1985 国家高程系统的偏差在 1m 左右。因此,EGM2008 模型的精度略优于 EGM96 模型。

5 结论

本文采用 GPS/水准数据外部检核法,采用两种精度统计和评定方案,利用三份不同地域的数据对 EGM2008 地球重力场模型精度进行了分析和评定。在不考虑系统偏差的情况下,浙江嘉兴 GPS/水准高程与 EGM2008 模型符合程度最优;吉林长春数据次之;新疆乌鲁木齐数据符合程度欠佳。在考虑了系统偏差的情况下,三个区域 EGM2008 模

型高程异常的精度均有所提高,且优于 EGM96 模型精度。另外,在地形起伏较大的区域,EGM2008 模型的精度提高更为明显。在实际应用中,为确保 WGS84 大地高的精度,GPS 数据处理尽量使用精密星历;野外观测作业中,要确保仪器量高的准确性。

三个区域内 EGM2008 模型计算高程与我国高程系统水准高程对比精度均在 1m 以内,可以满足规范中电法、磁法和化学勘探对高程精度的要求;对于重力勘探的测量,在采用 EGM2008 模型时,可以利用测区内部分水准点对 GPS 测量物理点高程进行平差校正或曲面拟合,从而得到各物理点的测量成果。

参考文献

- [1] Pavlis N K, Holmes S A, Kenyon S C and Factor J K. An earth gravitational model to degree 2160: EGM2008. // The 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, 2008, 13~18
- [2] 李建成,宁津生. 局部大地水准面精化的理论和方法. 大地测量学论文专辑,北京:测绘出版社,1999
- [3] 魏子卿,王刚. 用地球位模型和 GPS/水准数据确定我国大陆似大地水准面. 测绘学报,2003,32(1):1~5
- [4] 梁振英,董鸿闻,姬恒炼. 精密水准测量的理论和实践. 北京:测绘出版社,2004
- [5] 张兴福,刘成,刘红新. 利用 GPS/水准数据检核 EGM2008 重力场模型的精度. 测绘通报,2009,38(2): 7~9

(本文编辑:朱汉东)