

西藏墨脱地区工程精化似大地水准面的研究

陈楚江^{1,2} 孙凤华³ 李德仁¹

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 中交第二公路勘察设计研究院, 武汉市鹦鹉大道 498 号, 430052)

(3 西安测绘信息技术总站, 西安市西影路 36 号, 710054)

摘要: 采用地球重力场模型, 考虑区域重力异常和地形改正, 建立了西藏墨脱地区 $1' \times 1'$ 似大地水准面模型。实际检测结果表明, 该似大地水准面模型相对精度达到了 $\pm 0.025\text{m}$, 可代替几何水准测量, 满足该地区工程建设的要求。

关键词: 地球重力场模型; 似大地水准面; 高程异常; 西藏墨脱

中图法分类号: P223.0

1 问题的提出

墨脱位于西藏自治区的东南部, 地处印度洋板块与欧亚板块的缝合线上, 内有著名的雅鲁藏布大峡谷。墨脱新构造运动剧烈, 地应力集中, 山高路陡, 地形起伏巨大, 整个地势北高南低, 北侧山脉海拔在 4 500m 以上, 南侧海拔约 150m。全境约 4 万 km^2 , 大多为无人居住区, 且被原始森林覆盖。

墨脱全境处于国家基本控制框架外侧, 无国家高等级平面/高程控制点、重力点和天文水准点等基础资料。该区域平面控制测量尚可采用 GPS, 而高程控制由于地形、地貌、气候条件恶劣, 植被覆盖严重等, 无法采用常规手段进行, 要敷设一条水准路线, 难度非常大。

我国高程控制测量采用的是正常高系统。只要确定了高程异常值, 或确定了似大地水准面, 利用 GPS 测量不仅能获取高精度的平面控制坐标, 还能确定高精度的正常高。

确定高程异常的主要途径是天文水准和天文重力水准。近 20 年来, 卫星重力测量不断发展, 局部重力场精细结构不断精化, 重力场模型的理论 and 计算方法也已取得了重大进展。重力场模型的阶数已达 720 阶或 1 800 阶, 重力异常模型已达 $5' \times 5'$ ^[1,2]。我国也已研制了新一代似大地水

准面 DQM 99^[2]、CQG 2000^[3], 可用于 1:1 万比例尺测图中 GPS 水准代替几何水准测定正常高。

本文利用最新重力场模型, 考虑区域重力异常和地形改正及完全布格重力异常垂直梯度有关的高频改正, 并进行基准变换, 研究了墨脱地区 $1' \times 1'$ 工程精化似大地水准面模型, 达到了工程勘察设计的要求, 取得了良好的效果。

2 $1' \times 1'$ 工程精化大地水准面模型

任意点高程异常 ζ 可表示为:

$$\zeta = \zeta_g + \Delta\zeta \quad (1)$$

式中, ζ_g 为重力高程异常值; $\Delta\zeta$ 为重力高程异常值基准转换的改正值。

精确计算 ζ_g 和 $\Delta\zeta$ 需要大量重力、地形、GPS 水准等数据。一旦建立了 $1' \times 1'$ 高程异常数字模型, 并进行内插处理, 就能快速、准确计算任意点的高程异常。所谓 $1' \times 1'$ 高程异常数字模型就是计算测区内每隔 $1'$ (约 1.8km) 处的高程异常值, 并以此构成矩形数字格网高程异常模型。张传定、孙凤华等对 $1' \times 1'$ 平均重力异常数字模型进行过研究^[4,5]。下面从实际应用出发, 给出建立西藏墨脱地区 $1' \times 1'$ 似大地水准面模型的方法。

2.1 $1' \times 1'$ 高程异常值的计算

每个格网点的重力高程异常值 ζ_g 可表示为:

$$\zeta_g = \zeta_M + \zeta_{\xi} + \zeta_h \quad (2)$$

式中, ζ_M 为地球重力场模型贡献的高程异常; ζ_{ξ} 为近区域剩余重力异常和地形改正贡献的高程异常; ζ_h 为完全布格重力异常垂直梯度贡献的重力异常。

2.1.1 模型高程异常 ζ_M 的计算

地球重力场模型高程异常 ζ_M 为:

$$\zeta_M = \frac{fM}{r\gamma} \sum_{n=2}^N \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\sin\varphi) \quad (3)$$

式中, r 、 φ 、 λ 分别为计算点地心向径、纬度和经度; fM 为地球引力常数与地球质量的乘积; γ 为地球平均正常重力; n 、 m 、 N 分别为采用地球重力场模型的阶次和最高项; C_{nm} 、 S_{nm} 为完全正常化位系数; $P_{nm}(\sin\varphi)$ 为完全正常化的 Legendre 函数。

2.1.2 $1' \times 1'$ 格网点 ζ_{ξ} 的计算

近区域剩余重力异常和地形改正贡献的高程异常 ζ_{ξ} 的计算式为:

$$\zeta_{\xi} = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma_0} (\Delta g + C - \Delta g_M) S(\Psi) d\sigma \quad (4)$$

$$\Delta\zeta = a_0 + a_1(B - B_m) + a_2(L - L_m) + a_3(B - B_m)^2 + a_4(B - B_m)(L - L_m) + a_5(L - L_m)^2 + a_6(B - B_m)^3 + a_7(B - B_m)^2(L - L_m) + a_8(B - B_m)(L - L_m)^2 + a_9(L - L_m)^3 + a_{10}(B - B_m)^4 + a_{11}(B - B_m)^3(L - L_m) + a_{12}(B - B_m)^2(L - L_m)^2 + a_{13}(B - B_m)(L - L_m)^3 + a_{14}(L - L_m)^4 \quad (6)$$

式中, B_m 、 L_m 为计算单元中心点的纬度和经度; B 、 L 为已知点大地纬度和经度; a_0 、 a_1 、 \dots 、 a_{14} 为转换系数。

3 地区精化似大地水准面的建立

按上述理论和方法对墨脱地区纬度 $29^{\circ}00' \sim 30^{\circ}30'$, 经度 $94^{\circ}30' \sim 96^{\circ}00'$ 的区域构建了 $1' \times 1'$ 工程精化似大地水准面模型。其高程异常等值线图和高程异常模型透视图分别见图 1 和图 2。

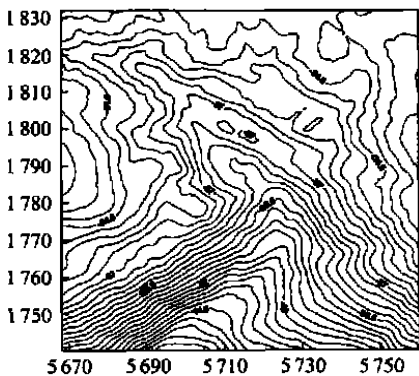


图 1 西藏墨脱地区高程异常等值线图
Fig.1 Contour Map of Height Anomaly in Mutuo, Tibet

式中, R 为地球平均半径; Δg 为平均空间重力异常; C 为平均地形改正; Δg_M 为采用地球重力场模型计算的平均空间重力异常; σ_0 为近区域积分区域; $S(\Psi)$ 为 Stokes 函数; $d\sigma$ 为积分面元。

实际计算中, 每个 $1' \times 1'$ 网格点的积分区域 σ_0 半径取为 1° , 积分面元取为 $1' \times 1'$ 。

2.1.3 $1' \times 1'$ 格网点 ζ_h 的计算

完全布格重力异常垂直梯度贡献的高程异常 ζ_h 为:

$$\zeta_h = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma_0} -(h - h_p) L(\Delta g_B) S(\Psi) d\sigma \quad (5)$$

式中, h_p 、 h 分别为计算点和流动点高程; $L(\Delta g_B)$ 为完全布格重力异常垂直梯度。

2.2 $1' \times 1'$ 高程异常值的转换改正值

高程异常值计算与基准有关。不同的基准, 其相应的高程异常值应进行转换并改正。其改正值的计算公式为:

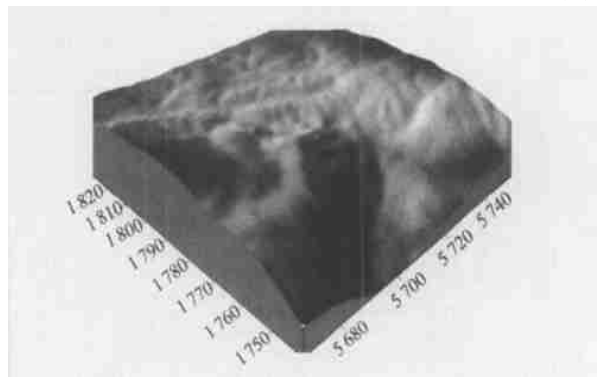


图 2 西藏墨脱地区高程异常面图
Fig.2 The Model of Height Anomaly in Mutuo, Tibet

在地区似大地水准面的建立过程中, 采用了下列数据资料: DQM2000B 地球重力场模型, $1' \times 1'$ 平均重力异常, 在 $1' \times 1'$ 数字地形模型基础上归算的 $1' \times 1'$ 地形资料。由于地理位置特殊, 建立似大地水准面的过程中, 用到了我国可能的所有已有重力点、GPS 水准点和部分国外有效的重力数据点。在计算过程中, 采用多种方法, 使大地水准面的建立尽可能地精细。数据处理采用 WGS-84 坐标系统, 并采用 GPS 似大地水准面基准, 其最终结果转换至

1985 国家高程基准。

4 应用效果

为了检验 $1' \times 1'$ 工程精化似大地水准面的精度, 在现场 A ($29^\circ 50' 44.8''$, $95^\circ 43' 27.0''$) ~ ($29^\circ 52' 28.0''$, $95^\circ 45' 46.6''$) 和现场 B ($29^\circ 29' 22.0''$, $94^\circ 52' 56.9''$) ~ ($29^\circ 30' 55.4''$, $94^\circ 55' 20.1''$) 分别进行了几何水准测量。

现场施测几何水准测量的仪器采用当今精度最高、每 km 往返测中误差只有 0.3mm 的 Zeiss Dini 水准仪。现场 A 施测了 8.74km 的水准路线, 现场

B 施测了 6.074km 的水准路线。水准测量严格按照国家现行的技术规范实施。

现场 A 采用每个水准点进行检核对比分析, 现场 B 采用分段高差对比分析。由于工程中关注点间相对高差, 往往按工程需要设立局部独立坐标系统或高程系统。因此, 分析对比时, 在路线的起点处, 设起算数据相等。区域 $1' \times 1'$ 工程精化似大地水准面高均转换至国家 1985 高程系统。A、B 两处与几何水准测量高程/高差的对比结果分别见表 1 和表 2, 较差与路线长的分布关系见图 3。

表 1 现场 A 高程比较表

Tab. 1 Height Comparison in Site A

点号	路线长/m	模型计算的高程/m	几何水准测量高程/m	较差/m
S01		2 726.610	2 726.610	0.000
S02	0.142	2 726.597	2 726.595	0.002
S03	0.678	2 721.143	2 721.139	0.004
S04	3.014	2 731.610	2 731.610	0.000
S05	4.158	2 774.306	2 774.247	0.059
S06	4.986	2 823.543	2 823.503	0.040
S07	6.165	2 896.230	2 896.208	0.022
1353	8.740	3 047.029	3 047.046	-0.017

表 2 现场 B 高差比较表

Tab. 2 Relative Height Comparison in Site B

路段	路线长/m	模型计算的高差/m	几何水准测量高差/m	较差/m
1	2.299	240.848	240.854	-0.006
2	3.775	366.705	366.688	0.017

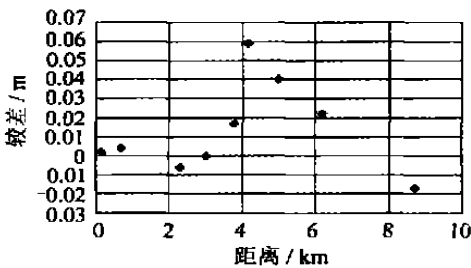


图 3 较差分布图

Fig. 3 Error Distribution

从实际检测结果分析可得出以下结论。

1) 本文研制的似大地水准面与实测几何水准相比, 最大误差为 0.059m, 最小误差为 -0.017m。

2) 高程误差的平均值为 0.013m, 中误差为 ± 0.025 m。

3) 误差分布与水准路线长无关。

4) 似大地水准面比实测水准面略高。

5) 最大误差未超过规范中规定的最弱点高

程中误差 ± 3 cm 的两倍。

5 结语

本文采用地球重力场模型, 考虑区域重力异常和地形改正及完全布格重力异常垂直梯度有关的高频改正, 并将结果转换到国家 1985 高程系统, 建立了西藏墨脱地区 $1' \times 1'$ 工程精化似大地水准面模型。经实际高精度的检测, 似大地水准面的相对精度达到了 ± 0.025 m, 最大误差未超过规范中规定的最弱点高程中误差 ± 3 cm 的两倍。在地形、地貌、地质、气候条件极为恶劣, 基础地理信息资料为空白, 地面高程测量无法实施的墨脱地区, 该似大地水准面的相对精度达到了山区工程四等水准测量的精度要求, 可代替几何水准测量, 以进行大比例尺测图高程控制和工程测量高程控制。

参 考 文 献

1 许厚泽, 陆仲连. 中国地球重力场与大地水准面. 北

- 京: 解放军出版社, 1997 158
- 2 石 磐, 夏哲仁. 高分辨率地球重力场模型 DQM99. 中国工程科学, 1999, 1(3): 51~55
- 3 宁津生. 跟踪世界发展动态, 致力地球重力场研究. 武汉大学学报·信息科学版, 2001, 26(6): 471~474
- 4 张传定, 吴晓平, 孙凤华, 等. 中国 $1' \times 1'$ 数字大地水准面和垂线偏差模型的建立. 见: 地面网与空间网联合平差论文集(四), 北京: 解放军出版社, 2003. 155~
- 5 孙凤华. 我国陆海 $1' \times 1'$ 平均重力异常数字模型的建立及可靠性检验. 见: 地面网与空间网联合平差论文集(四). 北京: 解放军出版社, 2003. 190~196
- 第一作者简介: 陈楚江, 教授级高工. 主要从事 3S 技术、CAD 技术的应用及集成研究.
E-mail: cjchen@public.wh.hb.cn

Refining Engineering Quasi-Geoid of Mutuo, Tibet

CHEN Chujiang^{1,2} SUN Fenghua³ LI Deren¹

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

(2 China Communications Second Highway Survey, Design and Research Institute, 498 Yingwu Road, Wuhan 430052, China)

(3 Xi'an Surveying Information Station, 36 Xiyang Road, Xi'an 710054, China)

Abstract: Mutuo of Tibet is located at the belt sewing Europe-Asia block and Indian Ocean block. The conditions of landform, relief, geology and weather in the area are very complicated. As Mutuo is the blank area of base information in China, it is difficult to survey it by traditional methods. The refining local $1' \times 1'$ quasi-geoid has been built by using the earth's gravity field model, the local gravity anomalies and relief rectification. The results show that the relative accuracy of this engineering quasi-geoid has reached 0.025m. It can substitute direct leveling and satisfy the need of the local engineering construction.

Key words: earth's gravity field model; quasi-geoid; height anomaly; Mutuo of Tibet

About the first author: CHEN Chujiang, senior engineer. He is engaged in the research on the application of 3S and highway CAD.

E-mail: cjchen@public.wh.hb.cn

(责任编辑: 涓涓)

下期主要内容预告

- ▶ 永久散射体雷达干涉测量技术
- ▶ 小波分析在大地测量中的应用及其进展
- ▶ 基于影响特征的点状定级因素分析
- ▶ 基于蚁群行为仿真的影像纹理分类
- ▶ GIS 空间数据水印信息隐藏与加密技术方法研究
- ▶ 多模型算法在协同定位中的应用
- ▶ 1985 国家高程基准的系统差