

新疆全区域似大地水准面的建立

陈合忠

(新疆维吾尔自治区第一测绘院, 新疆 昌吉 831100)

摘要: 简述了大地水准面精化的方法、原理及新疆似大地水准面确定的过程。

关键词: GPS; GPS/水准; 大地水准面精化

中图分类号: P223+.0

文献标识码: B

文章编号: 1672-5867(2011)06-0221-03

The Construction of Quasi-Geoid in Xinjiang Full-Region

CHEN He-zhong

(The Xinjiang First Institute of Surveying and Mapping, Changji 831100, China)

Abstract: This paper discusses the methods and principle of the refining to the geoid and the construction of quasi-geoid in xinjiang full-region.

Key words: GPS; GPS/leveling; refining to the geoid

0 引言

新疆维吾尔自治区总面积约 $166 \times 10^4 \text{ km}^2$, 幅员辽阔, 自然条件差异较大。在新疆完成分辨率较高、精度较好的 GPS/水准网的基础上, 充分利用各种重力资料、地形资料和国内外先进的地球重力场模型, 采用国内外先进的(似)大地水准面确定理论与方法, 应用第二类 Helmert 凝集算法完成似大地水准面的计算, 通过改善 Stokes-Helmert 积分核函数来提高重力似大地水准面的精度, 显著提高了地形复杂、重力数据稀疏区域的重力似大地水准面的精度, 从而在新疆建立起整个区域的精度大大优于 CQG 2000 的似大地水准面。

1 水准面精化

1.1 目的和意义

随着科学技术的飞跃发展, 用于建立和维持大地测量基准的技术手段、测量工具和理论方法发生了巨大变化。在新技术条件下, 为满足经济建设、国防建设以及地球科学研究对 3 维动态大地测量基准框架的需求, 迫切需要一个高精度、3 维、动态的多功能的国家空间坐标基准框架、国家高程基准框架和国家重力基准框架, 以及由 GPS、水准、重力等综合技术精化的高精度、高分辨率似大地水准面。

大地水准面是在地球重力场作用下, 处于无潮静流流体平衡的海面并延伸到陆地下的一个特殊的重力等位

面, 与平均海面最密合的重力等位面。似大地水准面作为一个高科技测绘产品, 它的推广应用可充分利用目前广泛使用的 GPS 定位技术, 改变传统高程测量模式, 代替等级水准测量, 有效减少测绘工作量, 节约大量人力、物力, 具有非常重要的科学意义和显著的社会经济效益。GPS 技术结合高精度、高分辨率大地水准面模型, 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 3 维定位功能。区域大地水准面精化也是建设现代高程基准的主要任务。

目前, 我国已建立的精化大地水准面模型为 CQG 2000, 分辨率为 $5' \times 5'$, 总体精度为 $\pm 0.36 \text{ m}$, 东经 102° 以东地区约为 $\pm 0.3 \text{ m}$, 东经 102° 以西, 北纬 36° 以北和以南地区分别为 $\pm 0.4 \text{ m}$ 和 $\pm 0.6 \text{ m}$, 其分辨率和精度与以前相比有了很大提高, 但远远不能满足经济发展对测量的需求, 不能满足“数字区域”“数字城市”工程建设的要求。由于新疆位于我国西部地区, 地形起伏较大, 其大地水准面模型精度更差, 远不能适应新疆经济的发展对空间地理信息的需求。因此, 急需建立一个高精度、高分辨率的似大地水准面, 以满足各方面的需求。

1.2 总体方案

利用 GPS 技术和水准测量技术, 按照整体设计、统一布网的原则, 建立和维持集 GPS、水准于一体的 GPS 水准控制网, 将 GPS B 级网点的布设与水准路线选取统一考虑, 以减少水准联测的工作量, 使控制点上同时具有平面和高程成果。通过采用国内外先进的技术, 提供高精度

收稿日期: 2011-08-15

作者简介: 陈合忠(1971-) 男, 新疆石河子人, 高级工程师, 本科学历, 主要从事测绘工程的技术设计、质量检查等工作。

的 3 维控制成果(包括地心、平面、高程)及高精度、高分辨率似大地水准面模型。

1.3 GPS/水准测量

新疆似大地水准面精化是通过 GPS 空间控制网、二等联测水准网和似大地水准面精化三部分来具体实施。GPS 网和水准网的布网方案设计,综合考虑和兼顾 GPS 网与水准网的有机结合与 GPS 测量成果与水准测量成果的时效性(或现势性)。

GPS 网采用 GAMIT 软件进行同步观测网的基线解算,平差时采用各同步观测网的独立基线向量及其全协方差矩阵作为观测量,独立基线的选取由程序自动完成。CGCS 2000 坐标系下 3 维约束平差后, GPS 框架网的平均相对精度为 0.0017×10^{-6} ,最弱边相对精度为 0.0034×10^{-6} ,其边长为 383 747.720 9 m。GPS 网的相对精度均小于 1×10^{-6} ,平均相对精度为 0.075×10^{-6} ;最弱边相对精度为 3.718×10^{-6} ,其边长为 24 372.305 6 m。

GPS 网的 3 维约束平差结果是建立了该地区在 CGCS 2000 坐标系下的 3 维大地坐标基准。高精度控制点坐标为今后基础测绘基准的最终建立提供了科学的依据,也可为高精度、高分辨率似大地水准面的建立提供均匀、可靠和精确的数据。

在整个项目建设过程中,尽可能地利用原有一、二等水准点作为 GPS/水准点,对于新布设的点,均采用二等水准进行了联测。

1.4 精密似大地水准面确定

1.4.1 采用的数据

地形改正(即: Helmert 凝集层位所产生的引力影响)和均衡改正采用了顾及地球曲率的严密球面积分公式,积分半径为 300 km。在新疆计算平均空间重力异常时采用了约 655 889 个点重力数据。为了确定新疆似大地水准面,使用了 197 个 GPS 水准资料和 65 个国家 A/B 级 GPS 水准资料,计算格网布格改正、地形改正和均衡改正时采用了航天飞机雷达地形测绘(Shuttle Radar Topography Mission,简称 SRTM)的空间飞行任务数据库 DTM 资料,其分辨率为 $7''.5 \times 7''.5$ 。地形的最小、最大高程值为 -156 m 和 8 280 m。

格网空间重力异常采用 Airy - Haiskanen 均衡归算计算均衡重力异常,点重力值上的空间改正和布格改正均由重力点上的高程计算,地形改正和均衡改正是由严格的数值积分计算得出的 $7''.5 \times 7''.5$ 地形改正结果利用双三次内插方法得到的。点均衡异常在内插其相应的 $2' \times 2'$ 格网值时,是利用张量曲率连续样条算法完成的。由于有些地区没有实测点重力值,因此,在 $2' \times 2'$ 格网上没有值时,利用 WDM 94 地球模型填补。

1.4.2 实施步骤

- 1) 地面重力观测值的归算;
- 2) 推估内插形成格网地形均衡异常,利用高阶积分核函数提高地形对大地水准面的贡献;
- 3) 利用 DEM 恢复格网平均空间重力异常,重力异常的格网化采用张量连续曲率样条内插方法;

4) 移去位模型重力异常生成残差空间异常和残差法耶异常;

5) 计算格网残差重力大地水准面高与残差高程异常;

6) 由位模型值恢复重力大地水准面高和高程异常,采用顾及地球曲率的严密地形均衡积分公式;

7) 重力似大地水准面与 GPS 水准似大地水准面的融合。

似大地水准面计算流程如图 1 所示。

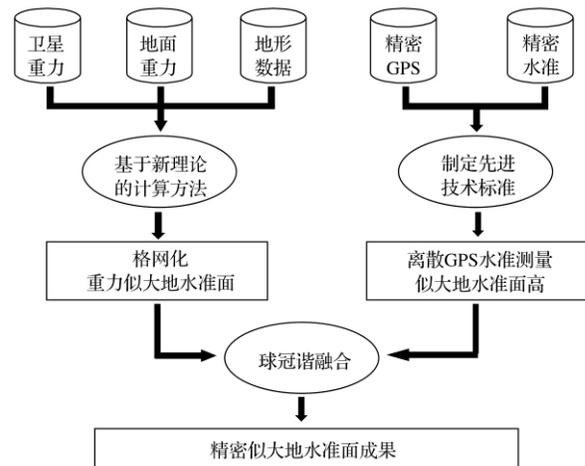


图 1 似大地水准面计算基本流程图

Fig.1 The basic flow of the quasi geoid calculation

1.4.3 结果分析

利用上述计算方案,对新疆似大地水准面精化数据进行了处理。采用了陆地 $2' \times 2'$ 格网空间重力异常作为输入数据,以 EIGEN 03 C 作为参考重力场模型。似大地水准面的计算采用了第二类 Helmert 凝集法,在利用第二类 Helmert 凝集法计算大地水准面中的各类地形位及地形引力的影响,即牛顿地形质量引力位和凝集层位间的残差地形位的间接影响以及 Helmert 重力异常由地形质量引力位和凝集层位所产生的引力影响,采用的公式均考虑了地球曲率影响的严密球面积分公式。计算地形的直接和间接影响的积分半径均采用了 300 km。

本项目在 203 个已有的水准点上实测了 GPS,将 197 个 GPS 水准与重力似大地水准面进行比较,其标准差为 ± 0.153 m,去掉系统偏移量 -0.011 m 后的最大值和最小值分别为 0.385 m, -0.337 m。

由于重力似大地水准面高与 GPS 水准似大地水准面存在着较大的垂向偏差和水平倾斜差异,因此,将两种大地水准面差异作为输入数据通过球冠谐分析来消除和减小两者存在的差异。在计算中,为了减弱计算区边界效应,选择了较大的球冠半径 $\theta_0 = 12^\circ$ 。球冠北极的纬度为 $42^\circ 00' (N)$ 和经度为 $85^\circ 00' (E)$,球冠谐系数展开的最大阶数为 $N_{max} = 10$ 。拟合后的似大地水准面与 GPS 水准的标准差为 ± 0.113 m,偏差为 -0.001 m,最大值和最小值分别为 0.359 m, -0.303 m。

2 主要结论与建议

本项目突破了在地形起伏大、地形复杂且重力数据稀疏区域确定精密大地水准面的方法与关键技术,提出了多项原创性的理论技术方法,包括:在重力归算中采用了严密的顾及地球曲率地形改正和均衡改正的球面积分公式,格网重力异常采用了曲率连续张量样条算法进行内插和推估,似大地水准面计算采用了第二类赫尔默特凝集算法,各类地形位及地形引力改正均考虑了地球曲率影响,提高了重力似大地水准面的精度。

本项目在新疆似大地水准面计算中,使用了655 889个点重力数据和197个GPS水准资料,ENGEN 03 C地球重力场模型作为参考重力场,由第二类Helmert凝集法完成了大地水准面的计算。计算地形的直接和间接影响的积分半径均采用了300 km。197个GPS水准资料与重力似大地水准面独立比较精度为 ± 0.153 m。利用球冠谐调和分析方法将GPS水准与重力似大地水准面联合求解得出的 $2' \times 2'$ 格网似大地水准面其精度达到 ± 0.113 m。根据以上精度分析可以看出,新疆似大地水准面成果完全可满足新疆区域的1:10 000地形图外业生产,并使快速获取相对高精度高程应用于更大比例尺地形图或其他项目成为可能。

3 结束语

新疆高精度似大地水准面及高精度GPS网成果,不仅可以建立与国家大地测量坐标相一致的精确的区域大地测量平面控制框架,而且结合高精度GPS大地高可以

快速地获取地面点的水准高程,将极大地改善传统高程测量作业模式,从而使费用高、难度大、周期长的传统高精度水准测量工作量减少到最低限度。本项目的完成,对于加快“数字新疆”和各种基础测绘、国土资源、水利、交通、生态环境保护等工程的建设,具有特别重要的科学意义、社会效益和巨大的经济效益。新疆高精度的高程基准的建立可以满足各类不同行业、用户对精密定位、快速和实时定位、导航的要求,及时地满足城市规划、国土测绘、地籍管理、城乡建设、环境监测、防灾减灾、交通监控等多种现代信息化管理的社会需求。

参考文献:

- [1] 党亚民,秘金钟,成英燕.全球导航卫星系统原理与应用[M].北京:测绘出版社,2007.
- [2] 李征航,张小红.卫星导航定位技术及高精度数据处理方法[M].武汉:武汉大学出版社,2009.
- [3] 李建成.我国现代高程测定关键技术若干问题的研究及进展[J].武汉大学学报(信息科学版),2007,32(11):980-987.
- [4] 陈俊勇,李建成.推算我国高精度和高分辨率似大地水准面的若干精度问题[J].武汉测绘科技大学学报,1998,23(2):95-99.
- [5] 李建成,陈俊勇,宁津生,等.地球重力场逼近理论与中国2004-大地水准面的确定[M].武汉:武汉大学出版社,2004.

[编辑:宋丽茹]

(上接第220页)

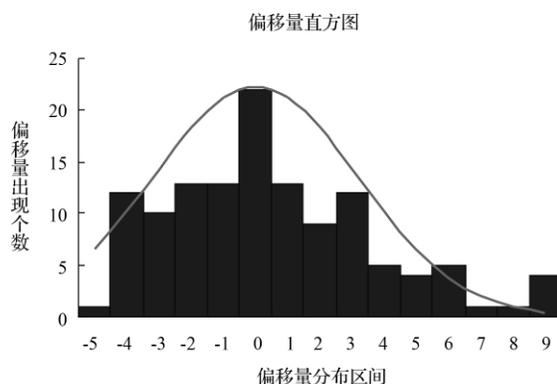


图3 采集偏移量分布图

Fig.3 Distribution of collection offset

标准差为 ± 2.97 m,其并不是传统意义上的中误差,只表征了随机向量分布的离散程度。其数值为 ± 2.97 m,说明DLG线要素分布较为集中,和直方图所反映的是一致的。

2 结束语

我实验区农村土地调查采用的由SPOT 5卫星遥感影像制作的DOM数据精度较好,经检测点位中误差为 ± 4.46 m,符合《第二次全国土地调查技术规程》(TD/T

1014-2007)中对DOM调查工作底图5.0 m的精度要求。

DLG采集精度为 ± 2.97 m,分布集中,整体精度较好,满足“明显界线与DOM上同名地物的移位不得大于图上0.3 mm”的要求。

由于在研究DLG精度时,忽略了DLG线要素的偏移方向和切线方向分量,故数据理论上并不服从标准正态分布,只是从统计学角度处理数据,我们只是做了一个实验区的一次研究,这有待于在将来做进一步的探讨、研究。

参考文献:

- [1] 邹玉会,杨建林,高秋华.土地调查操作指南[M].长春:吉林教育出版社,2008.
- [2] 贾俊乾,高秋华,刘洋.正射影像图在土地调查中的应用研究[J].城市勘测,2009(1):85-86.
- [3] 武汉大学测绘学院测量平差学科组.误差理论与测量平差基础[M].武汉:武汉大学出版社,2003.
- [4] 高丽霞,高永明.吉林省第二次土地调查工作底图精度的检测与分析[J].测绘空间与地理信息,2010,33(4):184-186.
- [5] 崔希璋.广义测量平差[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,2001.

[编辑:胡雪]