

Application of Refined Geoid Refinement in the Water Supply of Western Jilin Province——Taking Taonan City as an Example

Hui He

Jilin Provincial Institute of Water Resources and Hydropower Survey and Design, Changchun, Jilin, 130021, China

Abstract

This paper introduces the establishment of the D-grade GPS control network in Taonan City and the comparison accuracy between the measured leveling elevation and the regional quasi-geoid refined elevation. It is determined that the refined elevation of the regional quasi-geoid can meet the needs of the project, which is of great significance for the refinement of the local and national geoid.

Keywords

GPS control network; geoid-like refinement; application of refined elevation

似大地水准面精化在吉林省西部供水中的应用——以洮南市为例

何辉

吉林省水利水电勘测设计研究院, 中国·吉林·长春 130021

摘要

文中介绍了洮南市D级GPS控制网的建立及实测水准高程与区域似大地水准面精化后测的高程对比精度情况, 确定利用区域似大地水准面精化高程能够满足工程需要, 对精化局域和国家大地水准面具有重要意义。

关键词

GPS控制网; 似大地水准面精化; 精化高程的应用

1 引言

吉林西部供水工程为国务院172项重大水利工程之一, 也是吉林省首个以恢复和改善区域生态环境为目的的重大生态水利工程, 得到了国家各部委的大力支持。工程任务为充分利用现有供水工程体系, 在保障区域经济社会用水的基础上, 合理调配和利用供水等资源, 向吉林西部地区的重要湖泊、湿地供水, 回补地下水, 恢复和改善区域生态环境。测区范围很大, 高程控制如果用传统水准测量的话将严重拖延测量工期; 因此, 我单位与吉林大学合作, 利用似大地水准面精化的方法, 建立了基于EGM2008地球重力场模型的区域似大地水准面模型XITONG_GEO^[1]。本文以吉林省洮南市为例对XITONG_GEO模型在洮南市水利测量中的应用进行了阐述。

2 基础控制网建设

2.1 测区简介

洮南市位于吉林省西北部, 总面积5103平方公里, 是国家确定的商品粮基地县、粮棉大县。境内有大小河流7条, 洮儿河是嫩江的支流, 境内长156公里。蛟流河是洮儿河较大支流, 境内长70公里, 有群昌、创业中型水库两座, 蓄水能力达12680万立方米, 有郭家店、四海泡等大小泡沼26处, 测绘范围几乎覆盖整个洮南市^[2]。

2.2 GPS基础控制网布设

2.2.1 参考基准

本次测量GPS基础控制网采用西安1980坐标系统, 中央子午线东经123度。

2.2.2 平面控制测量

(1) 选点、埋石与观测

GPS 点位的选择及观测严格按照《全球定位系统 (GPS) 测量规范》GB/T18314—2009 及《水利水电工程测量规范》SL 197—2013 的要求来执行。全网共 47 个点, 其中 GPS D 级点 38 个, 联测国家 GPS C 级点 9 个 (见图 1)^[1]。GPS D 级网平均边长 5km 左右。GPS 控制测量采用静态定位模式进行同步观测, 采用仪器是精度为 5mm+1ppm 的徕卡双频 GPS 接收机, 布网按“先整体, 后局部”的原则进行。D 级网组网, D 级基础上进行 (RTK) 加密图根点测量, 以满足测图需要。为了使本次控制网有较强的几何强度, 采用边连接方式构网。GPS D 级网观测的技术指标 (见表 1)。

表 1 GPS D 级控制网技术指标要求

等级	D 级
卫星高度角	≥ 15°
观测时段数	≥ 1.6
观测时段长度 (min)	≥ 45
有效观测卫星数 (个)	≥ 4
数据采样间隔 (S)	10~30
PDOP 值	≤ 6

数据来源于《全球定位系统 (GPS) 测量规范》GB/T18314—2009

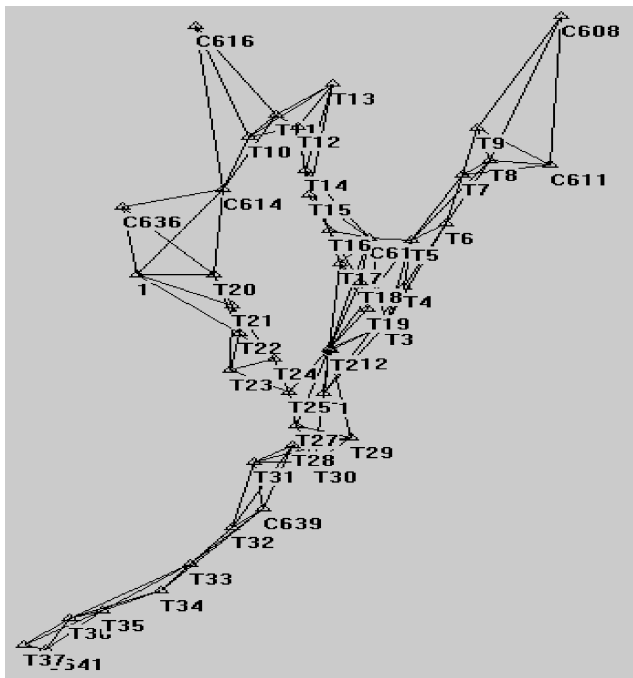


图 1 洮南市 D 级 GPS 控制网

(2) 数据处理

基线处理及平差解算采用的是徕卡公司的 LGO (LEICA

Geo Office Combined) GPS 解算软件及武汉天任勘测有限责任公司的 Power Adj GPS 数据后处理软件。平面控制最弱点为 T2, 点位中误差为 1.25cm; 最弱边为 C6413 → T37, 相对中误差为 1/409684。控制成果完全满足所执行《全球定位系统 (GPS) 测量规范》GB/T18314—2009 及《水利水电工程测量规范》SL 197—2013 的要求^[4]。

2.3 高程控制测量

本次测量高程采用 1985 国家高程基准, 由于测区范围大, 工期要求紧所以未进行水准测量, 而是利用我单位与吉林大学合作建立的区域似大地水准面模型 XITONG_GEO, 根据公式: 正常高 = 大地高 - 高程异常, 求解正常高即本次测量的高程。

3 区域似大地水准面精化

3.1 似大地水准面的概念及作用

3.1.1 大地水准面、似大地水准面、大地水准面差距

(1) 大地水准面: 一个与静止不动的平均海面重合并向大陆内部延伸包围地球的封闭的重力位水准面。大地水准面被称为重力等位面。既是一个几何面, 也是一个物理面。

(2) 似大地水准面: 从地面上一点沿正常重力线向下量取至正常高所得端点所构成的封闭曲面。

(3) 大地水准面差距: 大地水准面与参考椭球面之差的距离为大地水准面差距, 用 N 表示。

3.1.2 大地高、正高、正常高、高程异常

(1) 大地高: 地面上一点沿法线到参考椭球面的距离, 用 $H_{\text{大地}}$ 表示。

(2) 正高: 地面上的一点沿着该点重力线至大地水准面的距离, 用 $h_{\text{正高}}$ 表示。

(3) 正常高: 地面上一点沿着该点正常重力线至似大地水准面的距离, 用 $h_{\text{正常高}}$ 表示。中国目前采用的高程是正常高^[5]。

(4) 高程异常: 似大地水准面到地球椭球面的垂直距离为高程异常, 用 ζ 表示。 $H_{\text{大地}} - h_{\text{正高}} + N = h_{\text{正常高}} + \zeta$

从公式中可以看出要精确求出大地水准面差距 N, 需要的是对大地水准面进行精化; 要精确求出高程异常 ζ , 需要对似大地水准面进行精化。中国所采用的是正常高系统, 因此要对似大地水准面进行精化, 精确求出高程异常 ζ , 通过 GPS 静态方法获取高精度的大地高, 就可以精确的求出正常高,

即我们通称的高程^[6]。

3.2 基于地球重力场模型的“移去-恢复”法

3.2.1 地球重力场模型的选择

地球重力场模型的发展伴随着人造卫星的出现而进入一个全新时期,世界各国的专家学者和科学研究机构都纷纷研究制作并发布了各国研制的全球重力场模型。EGM2008 是美国国家地理空间情报局(NGA)于2008年发布的超高阶全球重力场模型。该模型利用当时最先进的算法及建模技术,用 PGM2007B 为参考模型,使用 GRACE 卫星采集的重力数据、全球分辨率为 5' 的重力异常数据、TOPEX 卫星所获得的测高数据及现势性好、分辨率高的地形数据,结合面积广、高精度的地面重力数据研制而成的新一代全球重力场模型 EGM2008 地球重力场模型的覆盖率高达 83.8%,是高精度的全球重力场模型,在局部地区可达到厘米级精度。EGM2008 模型在中国大陆的精度与在全球范围内的精度相当,因此在本项目中采用 EGM2008 地球重力场模型为本次似大地水准面精化的地球重力场模型。

3.2.2 “移去-恢复”法

(1) 区域似大地水准面精化主要是要综合利用已用的重力资料、参考重力场模型、地形资料以及 GPS 水准成果,利用物理大地测量理论及方法,应用移去-恢复的技术来确定一定区域内的精密似大地水准面。区域似大地水准面的计算流程见图 2^[7]。

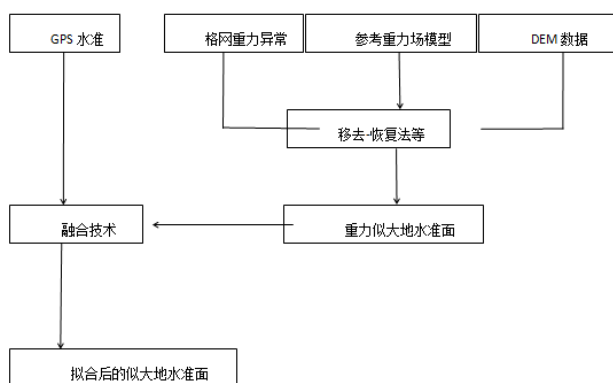


图 2 似大地水准面计算流程图

(2) 重力归算及格网平均重力异常计算

第一次移去-恢复是计算出基础格网的地面平均空间异常。利用 DEM 经过空间改正、局部的地形改正、层间改正及均衡改正,从而得到高平滑度的地形均衡重力异常。利用推算估值内插,形成平均地形均衡重力异常的基础格网数据。

然后再利用高分辨率的 DEM 将各个格网中的地形均衡异常按照地面重力归算的逆过程,分别减去空间改正、局部的地形改正、层间改正及均衡改正,恢复基础格网的地面平均空间异常。

(3) 重力似大地水准面计算

第二次移去-恢复是计算出高程异常及重力似大地水准面。计算重力似大地水准面必须借助地球参考重力场模型。根据位系数计算得出与地面格网相同分辨率的重力模型的平均空间异常,将地面空间异常减掉模型重力异常得出格网残差空间异常,将残差空间异常中加上局部地形改成继而得到残差法耶异常^[8]。

(4) 重力似大地水准面与 GPS 水准计算的似大地水准面拟合

① 根据 GPS 水准,计算得到实测的似大地水准面。高程异常按

$$\zeta_{\text{GPS}} = H_{\text{大地高}} - h_{\text{正常高}} \text{ 计算。}$$

② 任意一点重力似大地水准面的计算。在完成了规则的格网重力似大地水准面的计算后,可以用插值法来计算 GPS 水准点的重力似大地水准面。

③ 区域重力似大地水准面的拟合计算。

由重力似大地水准面格网内插 GPS 水准点上的重力似大地水准面高程异常 ζ_{gra} , 并且求解出与 GPS 水准点上实测的似大地水准面高程异常 ζ_{GPS} 的差值,组成不符值序列;根据不符值序列河相应的 GPS 水准点的球面坐标组成多项式拟合的观测方程,参数为多项式的系数;按照最小二乘法原理求解拟合的多项式系数;根据拟合的多项式系数和格网中心点的坐标,对重力似大地水准面进行拟合纠正,继而求出适合于该区域 GPS 水准网的最终似大地水准面^[9]。

3.3 区域似大地水准面精度检验与评定

3.3.1 检验点的布设原则

检验点的点位应该均匀分布与测区,在平原、丘陵和山地等不同地形以及边缘地区应布设检查点,应采用没有参加似大地水准面计算的实测高程异常点作为检查点;检验点与用于区域似大地水准面精化的高程异常控制点之间的距离不能小于似大地水准面格网间距;检验点应该能够满足 GPS 观测及水准联测的条件;在利用以前的旧点作为检验点时,应该检查旧点的完好性、稳定性及可靠性,以及旧点是否能够

满足 GPS 观测和水准观测的要求，符合这些条件后，旧点方可被利用。

3.3.2 检验点的数据处理

区域似大地水准面的检验点的数据处理应完全按照《全球定位系统 (GPS) 测量规范》GB/T18314—2009 及《国家三、四等水准测量规范》GB/T12898—2009 的要求来执行；计算检验点的实测高程异常；利用检验点的大地坐标与拟合后的似大地水准面模型来计算检验点的高程异常。似大地水准面精度则由似大地水准面模型计算的各个检验点的高程异常与实测的高程异常不符值得中误差来评定，作为似大地水准面的精度^[10]。

3.3.3 洮南市利用区域似大地水准面模型 XITONG_GEO 后高程精度统计

洮南市选取了均匀分布在测区的已知一等水准点 2 个、三等水准点 9 个、四等水准点 4 个，共 15 个点来作为 XITONG_GEO 模型的高程精度检验点，检验结果见表 2。

表 2 重合点高程比较表

点名	水准高程 (m)	利用水准面测的高程 (m)	差值 (m)
I	152.860	152.896	-0.036
B1	140.281	140.297	-0.016
B2	139.914	139.940	-0.026
C1	154.888	154.880	0.008
C608	161.846	161.821	0.025
C611	165.699	165.659	0.040
C612	160.774	160.819	-0.045
C613	157.725	157.757	-0.032
C614	151.448	151.486	-0.038
C639	172.997	172.978	0.019
C641	184.261	184.225	0.036
C642	193.181	193.193	-0.012
C644	218.633	218.603	0.030
I 突洮 11	163.357	163.339	0.018
I 突洮 12	155.810	155.783	0.027

表中数据来源于实测

4 结语

根据《1:500 1:1000 1:2000 外业数字测图技术规程》GB/T14912—2005 中的规定，图根高程控制的测量高程中误差不能大于测图基本等高距的 1/10。不同比例尺地形图对基本等高距的要求见表 3。

表 3 地形图基本等高距

单位: m

比例尺	地形类别			
	平地	丘陵	山地	高山地
1:500	0.5	1.0(0.5)	1.0	1.0
1:1000	0.5(1.0)	1.0	1.0	2.0
1:2000	1.0(0.5)	1.0	2.0(2.5)	2.0(2.5)

注: 括号内的等高距根据测量用途及需要选用。

(表中数据来源于《1:500 1:1000 1:2000 外业数字测图技术规程》GB/T14912—2005)

国家基本地形图中最大的比例尺为 1 : 500 的地形图，平地的基本等高距为 0.5 m，其 1/10 为 0.05m。通过表 2 可以看出已知水准高程与利用 XITONG_GEO 模型测的高程最大差值为 -0.045m，小于 1 : 500 的地形图中规定的 0.05m。因此可以看出，通过区域似大地水准面精化模型，把 GPS 观测的大地高通过公式：正常高 = 大地高 - 高程异常，求得的正常高即我们所说的高程，能够满足四等及以下水准的精度要求。与传统水准测量相比，利用区域似大地水准面精化的方法有降低劳动强度及成本、提高工作效率、测量误差不累积等诸多优点，可以满足水利工程、国土测量、地质勘查等领域对高程的精度要求。是值得继续深入研究及广泛推广的一门技术。

参考文献

- [1] 田力,董玉珍.测绘综合能力(2016版)[M].北京:测绘出版社,2016.
- [2] 田厚勇.似大地水准面精化方法研究及在松原灌区中的应用[D].长春工程学院,2015.
- [3] 蒋平.小区域似大地水准面精化方法的研究[D].西安科技大学,2015.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T18314—2009全球定位系统(GPS)测量规范[S].2009.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T14912—2005,1:500,1:1000,1:2000外业数字测图技术规程[S].2005.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T12898—2009国家三四等水准测量规范[S].2009.

- [7] 中华人民共和国水利部 .SL197 — 2013 水利水电工程测量规范 [S] .2013.
- [8] 毛家正, 张选固, 李同信, 张华莉 . 似大地水准面精化高程在凤县地区的应用 [J]. 陕西地质, 2015,02:102-106.
- [9] 邱中军, 羊远新, 吴琼 . 基于 EGM2008 重力场模型的松原灌区大地水准面精化 [J] 测绘与空间地理信息, 2015,04:213-216.
- [10] 李华平, 马新莹, 章纬之, 等 . 基于 EGM2008 模型进行芜湖市似大地水准面精化 [J]. 城市勘测, 2013,05:101-104.