

泉州市中心规划区似大地水准面精化实践研究

施养加

(泉州市城乡规划信息中心, 福建 泉州 362000)

摘要 本文主要介绍了利用 GPS 测量结合二等水准测量技术, 按照统一规划、整体设计的原则, 建立泉州市中心规划区厘米级区域似大地水准面精化的实践经验。

关键词 GPS 二等水准 似大地水准面精化

中图分类号: P224

文献标识码: B

文章编号: 1672- 4097(2011)03- 0037- 04

1 引言

众所周知, 采用 GPS 技术可以很容易得到高精度的三维坐标, 但是 GPS 技术测量得到的是大地高, 要得到我们平常使用的 85 高程值(正常高), 需要知道参考椭球面到似大地水准面差距(即高程异常), 大地高等于正常高与高程异常之和。在 GPS 技术测量大地高精度很容易达到厘米级的情况下, 高程异常值的测量精度将直接决定正常高的测量精度。近年来, 各地对厘米级似大地水准面的需求十分迫切。高精度的似大地水准面精化成果结合 GPS 定位技术可以得到高精度的正常高, 使 GPS 直接测定正常高能达到四等水准测量的精度, 不但节约大量人力物力, 产生巨大的经济效益, 而且具有特别重要的科学意义和社会效益。

2 项目目标

泉州市中心规划区面积约为 980 km², 东经: 118°26′—118°59′, 北纬: 24°49′—25°12′。范围包括泉州市的鲤城区、丰泽区、洛江区, 晋江的磁灶镇、紫帽镇、池店镇、陈埭镇、西滨镇, 石狮的蚶江区、祥芝区, 南安의 丰州镇, 惠安的黄塘镇、洛阳镇、百崎乡、张坂镇、山霞镇和崇武镇。测区内地形以平原、丘陵为主, 居民点较为密集, 工厂企业较多, 交通发达。其项目目标有。如下几则。

2.1 原有泉州市 C 级 GPS 网扩测

扩大泉州市 C 级 GPS 网覆盖范围, 使之覆盖整个城市中心规划区域。

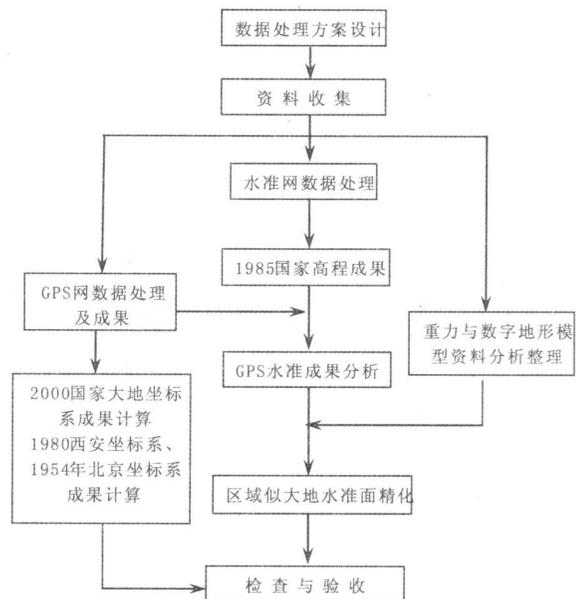
2.2 C 级 GPS 点的二等水准联测

区域内国家一等水准路线只有杭广南和泉州市布设的 18 个一等(实际应为二等)水准点, 位于鲤城区和惠安的洛阳镇, 分布非常不均匀。考虑区域似大地水准面精化的需要, 必需对新布设的 C 级 GPS 点尽量进行二等水准联测。

2.3 区域似大地水准面精化

利用 C 级 GPS 点成果和二等水准成果, 经过计算, 生成区域似大地水准面精化成果。

3 工艺流程



4 工作实施

本项目从 2009 年 10 月开始实施, 2010 年 8 月结束。

4.1 C 级 GPS 网

4.1.1 选点、埋石

在对原有控制点进行普查的基础上, 进行选点并埋设控制点专用标志。泉州市中心规划区 C 级基础控制网共埋设 152 个点。

点位选择时参考 GB/T 18314—2009《全球定位系统(GPS)测量规范》中的第 7 条, 但为了便于保存, 要求 GPS 点不宜选埋在水泥路上。

布设考虑到图形结构, 尽可能地均匀分布,

保证至少与一个 GPS 点通视, 利于生产和工程使用。

点位选在视野开阔、稳定、牢固的地方, 远离大功率无线电发射台(如电视台、微波站等), 其距离不得少于 200 m; 远离高压输电线, 其距离不得小于 50 m; 便于安置接收机、操作的地方。

4.1.2 观测

C 级网采用 8 台天宝双频 GPS 接收机(5700、5800、R8) 基于连续运行基准站的观测模式进行观测, 并尽量构成同步环。

外业工作于 2010 年 3 月底全部结束。

4.2 二等水准测量

4.2.1 总体要求

本项目要求一定数量的 C 级 GPS 控制点应具有二等水准高程以便进行后续的似大地水准面精化; 此类连测水准的 C 级 GPS 点其点间平均距离控制在 4 km 以内。二等水准以测区内及附近的国家一等水准点为起算。二等水准线路尽量沿着公路、大路及河流布设。二等水准网应整体并网布设, 整网平差。

4.2.2 观测

(1) 仪器: 二台拓普康 DL-101C、三台天宝 Di-ni0.3 和一台徕卡 DNA03 等符合二等水准观测要求的数字水准仪。

(2) 水准观测采用单路线往返观测, 同一条区段的往返测使用同一类型仪器和转点尺承沿同一路线进行。

(3) 在每区段内, 先连续进行所有测段往(返)测, 随后再连续进行该区段的返(往)测。

(4) 同一测段的往(返)测和返(往)测均在上下午进行, 在日间气温变化不大的阴天和观测条件较好时, 若干里程的往返测同在上或下午进行, 这种里程的总站数最大不超过该区段总站数的 30%。

(5) 二等水准观测时, 详细记录观测时的气象元素和时间。水准观测在标尺分划线成像清晰而稳定时进行。遇有大风、气温突变或标尺分划线的影像跳动剧烈时, 不进行观测。对于晴天(日照大于 6 个小时)或观测时间段温差大于 10 度或当天温度高于 25℃时, 日出后与日落前 30 分钟内, 太阳中天前后各约 2 个小时内不进行观测。对于其它天气情况, 太阳中天前后 1 小时内不进行观测。

(6) 所有水准观测各项记录均以随机软件进行记录。

5 数据处理

5.1 C 级 GPS 网数据处理

基线解算与网平差软件采用美国麻省理工学院和 Scripps 研究所共同研制的 GAMIT/GLOBK 软件。

5.1.1 数据整理

依据外业观测手簿, 将同一天的观测数据放在一起, 数据格式为 Rinex 格式, 并进行以下数据正确性的检验:

- (1) 点名一致性与正确性;
- (2) 接收机与天线型号的正确性;
- (3) 天线高的正确性;
- (4) 年积日的一致性;
- (5) 按照天线结构, 天线高统一采用观测值归算。在基线解算时由软件自动计算天线相位中心位置, 归算至标石标志面。

5.1.2 基线处理

- (1) 采用的参考框架为 ITRF97, 参考历元为 2000.0;
- (2) 卫星轨道采用的星历为 IGS 精密星历;
- (3) 基线解算采用基准站技术, 即连续运行站 + 测区观测数据。

5.1.3 GPS 网的平差

(1) 平差采用的观测量: 先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;

(2) ITRF 框架下的三维无约束平差: 三维无约束平差的目的主要有以下三个方面: 一是进行粗差分析, 以发现观测量中的粗差并消除其影响; 二是调整观测量的协方差分量因子, 使其与实际精度相匹配; 三是对整体网的内部精度进行检验和评估;

(3) ITRF 框架下的三维约束平差: 三维约束整体平差的目的是将 C 级网重新作为整体平差。将 C 级网的所有独立基线向量及其经调整后的协方差矩阵作为观测量, 平差时应消除因星历和网的传递误差引起的整网在尺度和方向上的系统性偏差。

5.1.4 精度统计

GPS 数据处理共计获得泉州市中心规划区 C 级基础控制网 152 个点。

C 级 GPS 网点的空间直角坐标 X 方向的精度优于 ± 11.0 mm, Y 方向的精度优于 ± 17.2 mm, Z 方向的精度优于 ± 9.3 mm; 南北方向的精度优于 ± 3.7 mm, 东西方向的精度优于 ± 2.7 mm, 高程方向的精度优于 ± 21.5 mm。

5.2 水准网数据处理

5.2.1 水准路线施测概况

泉州市中心规划区二等水准测量路线长度 843.8 km, 连测水准点 108 个, 其中 GPS C 级网点 98 个。

5.2.2 外业数据整理

(1) 观测数据提取

水准数据从外业观测数据中获取, 提取的主要内容有:

- 点名: 观测时设站点的点名;
- 距离: 测段往返观测距离的中数;
- 测站数: 测段的往返测站数;
- 高差: 测段往返观测高差;
- 观测时间: 往返测开始及结束时刻;
- 标尺号: 观测使用标尺的编号。

(2) 起算点采用

经分析, 起算点采用“ I 杭广南 260 乙、I 杭广南 261A、I 杭广南 262A、I 杭广南 263A、I 杭广南 265A、I 杭广南 267A、I 杭广南 268A、I 崇武支 2-1、崇武验 BM 岩 2”, 高程值取自《国家一等水准网复测成果表》。

5.2.3 水准概算

(1) 数据正确性与一致性的检核

- 检查水准数据的完整性;
- 按路线累和往返观测高差、测站数、距离等关键数据;
- 计算二等水准路线的往返高差不符值及每千米水准测量的偶然中误差, 每千米水准测量偶然中误差为 ± 0.58 mm, 满足限差 ± 1.0 mm 要求。

(2) 推算各点的概略高程

推算各点的概略高程的目的是为了给后续计算各项改正数提供概略高程。推算时高差中数中加入了标尺长度误差改正, 标尺改正系数表取自外业数据。

5.2.4 环闭合差计算及每公里水准测量全中误差计算

二等水准路线构成附和路线 8 条, 闭合差计算时高差中加入了标尺长度误差改正、正常水准面不平行改正、重力异常改正、固体潮改正, 用经过各项改正后的高差计算的闭(附)合差计算每公里全中误差为 ± 1.12 mm。

$$M_w = \pm \sqrt{\frac{WW/FI}{N}}$$

其中:

W 为经过各项改正后的高差计算的闭(附)合差;

F 为测段长度;

N 水准环数。

5.2.5 高程计算

二等水准路线均布测成附和线, 高程计算时按测段测站数配赋附和差推算水准点高程。

(1) 水准路线附和差改正

计算路线附和差, 并按测段的测站数呈正比的比例配赋于各测段的高差中。

$$v = -\frac{R}{[R]} \times chW$$

其中:

W —经过标尺长度改正、正常水准面不平行改正、重力异常改正、固体潮改正后的路线附和差;

R —每测段的测站数;

$[R]$ —路线测站数。

(2) 水准点高程计算

$$H = H_0 + \sum h_{改}$$

其中:

H_0 为起算点高程;

$\sum h_{改}$ 为未知点与起算点间的经过各项改正后的测段高差累和。

5.3 区域似大地水准面计算

充分利用泉州市及周边地区较密集的重力点成果、数字高程模型、全球重力场模型及分布较均匀的、现势性较好的 GPS 水准成果, 采用重力法 (Molodensky 原理) 及移去 (remove) ~ 恢复 (restore) 技术, 完成分辨率为 $2.5' \times 2.5'$ 的高精度似大地水准面精化工作。

5.3.1 格网平均重力异常的计算

在格网平均空间异常计算时, 按以下步骤实施:

(1) 利用数字地形模型完成 $3'' \times 3''$ 格网点的层间改正、局部地形改正和均衡改正的计算;

(2) 完成离散点重力观测值的布格、均衡异常归算;

(3) 利用离散点的均衡重力异常值作为已知值, 采用线性移动拟合法计算 $30'' \times 30''$ 格网点的均衡异常;

(4) 由 $30'' \times 30''$ 格网点的均衡异常恢复 $30'' \times 30''$ 格网点的空间异常;

(5) 由 $30'' \times 30''$ 格网点的空间异常, 计算 $2.5' \times 2.5'$ 格网平均空间异常;

5.3.2 参考重力场模型计算模型重力异常和模型似大地水准面

参考重力场模型选用全球最新的 EGM2008 模型 (2160 阶次), 分别完成 $2.5' \times 2.5'$ 格网模型

重力异常计算和 $2.5' \times 2.5'$ 格网模型似大地水准面。

5.3.3 剩余法耶异常计算

由利用实测重力成果等资料计算的平均空间异常与模型平均空间异常及地形改正计算剩余法耶异常,采用剩余法耶异常作为计算区域重力似大地水准面的基础数据。

5.3.4 重力似大地水准面计算

在采用重力法及移去~恢复技术计算区域重力似大地水准面时,积分半径大小对似大地水准面的计算精度有着重要影响。采用 EGM2008 参考重力场模型,从 0 km 到 95 km,采用 Molodensky 公式,按照 5 km 的间隔进行不同积分半径的试算。经过试算,选择 5 km 积分半径进行区域重力似大地水准面计算。

5.3.5 利用 GPS 水准资料纠正重力似大地水准面

在完成区域重力似大地水准面计算后,需要利用测区的 GPS 水准点成果将区域重力似大地水准面拟合适配于该区域的实测似大地水准面。

本项目在泉州市布测 GPS 水准点 98 个,收集周边福建省 GPS 水准点 6 个,利用三等水准成果点 1 个,共计 105 个点全部用于似大地水准面拟合计算。经过粗差剔除共计剔除粗差点 3 个,最终用于泉州市似大地水准面拟合计算的点共计 102 个点。

拟合采用分区拟合法,根据泉州市地形及 GPS 水准数据的分布情况共计分为 3 个区,采用二元三次多项式对重力似大地水准面进行拟合纠正,为了保证各分区之间无缝接边,拟合时要保证各区与相邻区之间有一定的重叠数据,本项目各区外扩 $5'$,共保证 $10'$ 的重叠带。各分区之间采用适当的数学模型进行无缝平滑处理。

5.3.6 泉州市最终似大地水准面精度评定

似大地水准面的精度统计见表 1。

表 1 重力似大地水准面拟合纠正试算
残差中误差统计表

单位: cm

残差统计	EGM2008
积分半径	5 km
平均值	0.0
最大值	4.3
最小值	-4.5
中误差	± 2.2

从表 1 可以看出, EGM2008 所确定的最终似大地水准面模型精度为 ± 2.2 cm。

6 结束语

现在, GPS 测量已经成为测量的一种重要手段,各部门对高精度的似大地水准面精化成果的需求非常迫切。泉州市中心规划区厘米级似大地水准面精化的建立,使得利用 GPS 测量技术可以直接得到四等水准测量精度的正常高,便于城市建设的各个部门使用,对满足国民经济建设、社会发展、国防建设和科学研究的需求,有着十分重要的意义。

参考文献

- 1 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 18314 2009 全球定位系统(GPS)测量规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- 2 北京市测绘设计研究院. CJJ8 99 城市测量规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- 3 区域似大地水准面精化基本技术规定(GB/T 23709 2009), 中国标准出版社, 2009.
- 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/T 12897 2006 国家一、二等水准测量规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- 5 孔祥元, 郭际明. 控制测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006.
- 6 宁津生, 陈俊勇, 李德仁, 刘经南, 张祖勋, 等. 测绘学概论[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2010.

Research for the Practical of Quasi geoid Refinement in Central Planning Area of Quanzhou

SHI Yang-jia

(Quanzhou City and Countryside Plan Message Center, Fujian Quanzhou 362000, China)

Abstract The practical experience to contribute the centimeter lever region quasi geoid refinement in central planning area of Quanzhou is used by GPS survey and second rate leveling technology, and on the basis of unified play and overall design's principle.

Key words GPS; second order leveling; quasi geoid refinement