

杭州市区域似大地水准面 精化成果应用分析

杨彬¹, 王宇东², 李凉³

¹ 杭州市勘测设计研究院, 浙江 杭州 310012; ² 浙江省河海测绘院, 浙江 杭州 310014;

³ 浙江省测绘质量监督检验站, 浙江 杭州 310012)

摘要 介绍了杭州市区域似大地水准面精化成果的应用分析、评价以及应用 GPS 静态和以 CORS 系统的网络 RTK 的两种作业方法, 对两种方法所得成果进行了精度分析, 并论述了两种方法的适用范围。

关键词 似大地水准面精化 GPS 静态测量 网络 RTK 测量

中图分类号: P221

文献标识码: B

文章编号: 1672-4097(2011)06-0026-03

1 概况

为了满足杭州市基础测绘、研究城市地面沉降和城市建设等重要工程的需要, 杭州市政府适时提出了建立城市现代空间基准体系的建设方案。自 2009 年 11 月起, 杭州市勘测设计研究院承担《杭州市市域高精度分辨率似大地水准面的建立》工程。该项目测区范围覆盖杭州市辖 8 个区、5 个县(市), 土地总面积 16596 km², 经过 18 个月的工作, 该项目于 2011 年 6 月完成。杭州市市域高精度分辨率似大地水准面共布设高精度 GPS 水准点 189 点, 其中大地高精度优于 ±5.8 mm, 并全部联测二等水准。该项目充分利用杭州市及周边地区重力点成果、数字高程模型、全球重力场模型及分布均匀的、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, 完成了杭州市分辨率为 2.5' × 2.5' 1985 国家高程基准下的高精度 1 cm 级的似大地水准面工作。

根据《卫星定位城市测量技术规范》CJJ/T 73—2010, 新建立高程异常模型应进行 GPS 测量高程中误差检测, 检测点应均匀分布在拟合区域, 且应位于拟合中间部分并能反映地形特征。检测点数不应少于拟合总点数的 15%, 且不应少于 5 个点。为了客观真实地评价杭州市似大地水准面精化成果精度, 推广杭州似大地水准面精化成果的具体应用, 根据杭州市的实际情况以及相关规范的要求, 进行试验检核, 对应用情况进行分析比较。

2 杭州市精化大地水准面成果分析

2.1 精化大地水准面计算流程

区域似大地水准面精化主要是综合利用重力资

料、地形资料、重力场模型与 GPS 水准成果, 采用物理大地测量理论与方法, 应用移去恢复技术确定区域性精密似大地水准面。似大地水准面计算流程见下图:

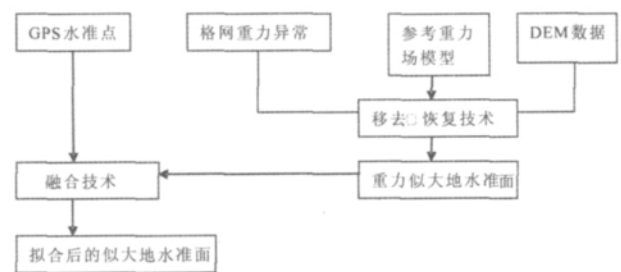


图 1 似大地水准面计算流程

2.2 杭州精化似大地水准面精度

杭州精化似大地水准面共布设高精度的 GPS/水准点 189 个, 大地高精度优于 0.006 m, 水准以一等点作为起算, 以二等水准方法联测。充分利用杭州市地形资料、杭州市及其周边地区的加密重力测量资料 (含少量海洋点) 共计 4.3 万点, 采用国际上最先进的重力场模型 EGM2008 (2160 阶次), 陆海统一的严密重力归算理论与技术, 以及精密确定地形质量对大地水准面的直接与间接影响, 完成杭州市区域重力大地水准面的计算。综合应用多项式拟合、最小二乘配置、薄板样条等现代拟合技术与方法对重力似大地水准面进行拟合纠正, 确定了杭州高精度、高分辨率的似大地水准面模型, 内符合精度 ±0.4 cm, 外符合精度 ±1.0 cm。

3 实例分析

3.1 GPS 静态控制网点布设

我们对位于杭州市辖 8 个区、5 个县(市)满足

GPS 观测条件的二等水准点(未参与大地水准精化模型的点)和 GPS 水准点(已有二等水准成果,且未参与大地水准精化模型的点)进行静态观测,共布设 56 个点,基本上覆盖了整个区域,点位分布均匀,其点位分布图如下:

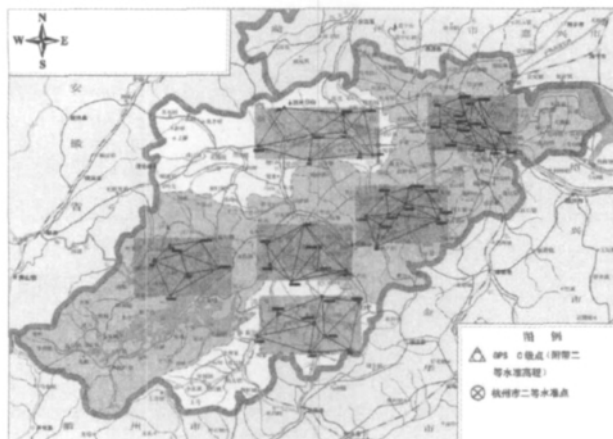


图 2 GPS 静态应用检核点位分布图

3.2 外业观测及数据处理

本次 GPS 测量采用 6 台 Trimble5800 接收机观测,标称精度 $5\text{ mm} + 2 \times 10^{-6} d$,每个点观测时间为上午 8 点,到晚上 8 点,不间断观测 12 小时。卫星高度截止角为 15 度,数据采样间隔为 15S。天线高量测至毫米,测前、测中、测后各量测一次,三次较差不超过 3 mm,并取平均值作为最终成果。

外业数据采集完成后,采用 TEQC 软件将所有观测 12 小时的数据分别切成 1 小时数据,2 小时数据,4 小时数据,8 小时数据,数据处理采用广播星历。GPS 数据处理采用选 Trimble Total Control 软件进行基线解算,同时选取独立基线,三维网无约束平差采用武汉大学研发的科傻 GPS 软件,平差地心坐标起算基准为 ITRF97 框架 2000.0 历元,参考椭球为 2000 年国家大地坐标系统参考椭球。

3.3 数据统计与精度分析评定

按照《卫星定位城市测量技术规范》CJJ/T 73—2010,似大地水准面精化成果的精化方法为:计算每一测点 WGS 84 坐标(B、L、H)值,再利用杭州市似大地水准面精化应用程序求得测点的精化水准高程(1985 国家高程基准),并将精化水准高程与已知的直接实测水准高程进行比较,统计所有差值的分布情况,并统计差值区间分布,同时依下式计算系统高程的精度:

$$M_H = \sqrt{\frac{dHdH}{N}} \quad (1)$$

式中: M_H —外符合高程中误差(cm);

d_H —检测点水准高程与 GPS 测量高程的差值(cm);

N —检测点数。

根据(1)式,计算本次检测点水准高程与 GPS 测量高程较差中误差,按表 1 技术要求对其精度进行评定。

表 1 GNSS 高程测量主要技术要求(cm)

地形等级	平地、丘陵			山地		
	模型内符合中误差	高程中误差	检测较差	模型内符合中误差	高程中误差	检测较差
四等	2.0	3.0	6.0	—	—	—
图根	3.0	5.0	10.0	4.5	7.5	15.0
碎部	10.0	15.0	30.0	15.0	22.5	45.0

不同观测时长检测点水准高程与 GPS 测量高程的差值中误差统计表见表 2。

表 2 不同观测时段长检测点水准高程与 GPS 测量高程的较差区间统计表(m)

观测时长	$0 \leq dH < 0.010$	$0.010 \leq dH < 0.020$	$0.020 \leq dH < 0.030$	dH 平均值	M_H
12h	41(73%)	10(18%)	5(9%)	0.009	0.010
8h	31(55%)	16(28%)	9(16%)	0.011	0.013
4h	23(41%)	21(38%)	12(21%)	0.012	0.015
2h	18(32%)	25(45%)	13(23%)	0.014	0.019
1h	12(21%)	23(41%)	21(38%)	0.018	0.028

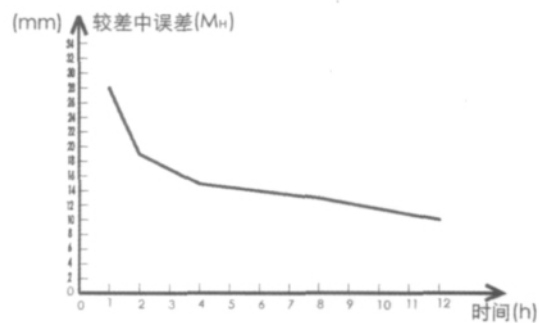


图 3 较差中误差与观测时间关系图

从表 2 与图 3 可以看出采用 GPS 静态作业观测时间越长,较差中误差越小。12 h 观测外符合精度为 0.010 m,8 h 外符合精度为 0.013 m,4 h 外符合精度为 0.015 m,2 h 外符合精度为 0.019 m,1 h 外符合精度为 0.028 m,同时较差最大值均未超过 0.03 m。根据表 1 技术要求,均满足四等水准限差。因此,杭州市市域高精度分辨率似大地水准面模型,当采用双频接收机观测时间 1 h 以上,精化成果完全可以取代四等水准测量成果。

3.2 网络 RTK 应用分析

按照《卫星定位城市测量技术规范》CJJ/T 73—2010,网络 RTK 高程同似大地水准面精化模型可以布设四等以外的水准高程。为了客观真实反映杭州精化似大地水准面模型基于网络 RTK 高程测定精度,在 208 个控制点(均联测四等水准高程)中选取条件比较好的,符合网络 RTK 观测条件的控制点进行检验分析。采用 TRIMBLE5800 动态接收机,用 HZCORS 下的网络 RTK 直接测设控制点的经度、纬度、大地高。GPS-RTK 测量初始化 2 次,取 100 个历元的平均值,仪器设置:HRMS 不大于 $\pm 0.03\text{M}$,高程 VRMS 不大于 $\pm 0.02\text{M}$,每个点测设均用脚架摆,天线高量测至毫米,测前、测后各量测一次,两次较差不超过 3 mm,并取平均值作为最终成果,两次高程较差控制在 2CM 之内,同时取两次高程平均值作为最终成果。一共测设 195 个点,使用杭州市似大地水准面精化应用程序转换得到该点的正常高,与四等水准测量结果较差如表 3:

表 3 网络 RTK 检测点精化高程与四等水准较差区间分布统计表

较差	点数	所占百分比	其他(m)
$\pm 0\sim 1\text{cm}$	53	27.18%	较差最大值 0.072 m 较差最小值 0 m 较差平均值 0.030 m 外符合精度 0.036 m
$\pm 1\sim 2\text{cm}$	48	24.62%	
$\pm 2\sim 3\text{cm}$	68	34.87%	
$\pm 3\sim 5\text{cm}$	21	10.77%	
$\pm 5\sim 8\text{cm}$	5	2.56%	
合计	195	100%	

由表 3 可以看出,网络 RTK 检测点用杭州精化大地水准面模型解算正常高与四等水准之间的较差外符合精度 $\pm 0.036\text{m}$,最大值 0.072 m,根据

表 1 技术要求,我们可以得出网络 RTK 测设的大地高经过杭州大地水准面模型精化之后其成果完全可以用于可以满足图根及以下等级水准测量精度。

4 总 结

1. 杭州似大地水准面精化成果的应用精度高、可靠性强,使用该大地精化模型极大的提高了测量工作的效率,建议在测量工作中大力推广使用。该成果应用将加快“数字杭州”地理空间基础框架的建设步伐,奠定了基础平台,对杭州信息化建设具有极大的推动作用。

2. GPS 静态作业,结合杭州市大地精化水准面成果,采用 D 级 GPS 作业模式,观测不少于 1 小时,精化高程完全可达到四等水准精度。

3. 基于 CORS 站的网络 RTK 测量设定严格操作程序,加强已知点检测,精化高程可以实现图根及以下等级水准测量精度。

参考文献

- 曹学礼,张旭东,葛章发,等.宁波市 2000 国家大地坐标联测及数据处理 [J].城市勘测 2010(4):86-89.
- 宁津生,罗志才,杨占吉,等.深圳市 1 km 高分辨率厘米级高精度大地水准面的确定 [J].测绘学报,2003,32(2).
- 王勇,吴俐民.网络 RTK 技术在城市控制测量中的试验与研究 [J].城市勘测,2006.
- 徐绍铨,张华海,杨志强.GPS 测量原理及应用 [M].武汉:武汉大学出版社,2002.
- 施一民.现代大地控制测量 [M].北京:测绘出版社,2003.

Analysis of Applied Results of Quasi-Geoid Determining in Hangzhou

YANG Bin¹, WANG Yu-dong², LI Liang³

¹ Hangzhou survey and Design institute, Hangzhou Zhejiang 310012, China;

² Zhejiang Surveying institute of Estuary and coast, Hangzhou Zhejiang 310014, China

³ Zhejiang quality supervision and inspection station of Surveying and mapping
Hangzhou Zhejiang 310012, China)

Abstract This paper demonstrates the analysis and appraisal of Quasi-Geoid determining in hangzhou, and introduces two kinds of methods to check up the precision of Quasi-Geoid determining, static GPS and RTK surveying with HZCORS.

Key words Quasi-Geoid determining; static GPS surveying; RTK surveying with network