

嘉兴市似大地水准面精化模型维护实践

陈振防^{1,2} 王解先¹

1 同济大学测绘与地理信息学院 2 嘉兴市规划设计研究院有限公司

DOI:10.32629/gmsm.v2i2.126

[摘要] 城市发展建设中大面积密集建筑群的增加,必然引起大地水准面形变,本文基于时隔6年的嘉兴市似大地水准面精化模型精度评定与精度复检的两次检测精度结果比较分析,证明了高精度的区域似大地水准面精化模型受地面建筑群负荷增加而降低了应用精度,并采用抵消系统差的方法对精化模型进行修正,对修正后的模型进行精度检测,验证了该方法能进一步提高模型精度。同时说明为了更好地应用于城市测绘和城市建设,对高精度的似大地水准面精化模型进行定期维护是非常有必要的。

[关键词] 似大地水准面精化模型; GNSS 测量; JXCORS; 精度检测; 模型修正; 定期维护

引言

精密的似大地水准面数字模型是高程基准现代化的关键基础设施。随着各省、市似大地水准面精化模型的建立,传统基于水准测量的地面标石高程基准将被基于 GNSS 测量的数字高程基准所代替,从而改变高程基准的维持模式和高程测定的作业模式^[1]。

随着经济的发展,城市人口不断增多,建筑数量也随之不断增加,大面积密集的高层建筑群作为地面上的附加质量,必然会破坏弹性地球原有的平衡状态,引起地球质量的重新分布,导致附近地面和大地水准面形变。在参考文献^[2]中以负荷潮研究为理论依据,采用上海市 6284 幢建筑属性数据,通过编程计算验证了建筑群负荷引起的大地水准面起伏、地面垂直形变及其对高程的影响。

嘉兴市近年来城市发展迅速,城市面貌日新月异,高层建筑物数量增加较快,地面建筑群集中负荷势必会对嘉兴市的大地水准面起伏、地面垂直形变及其高程产生影响,从而也影响了 2012 年建立的嘉兴市似大地水准面精化模型的应用精度。本文通过 2012 年实施的嘉兴市现代测绘基准体系建设项目和 2018 年实施的嘉兴市现代测绘基准体系复测项目两次精度检测成果进行比较分析,从两次检测成果在数学精度上的变化推测嘉兴市似大地水准面精化模型受地面建筑群负荷增加的影响而降低了精度,随后采用抵消系统差的方法对嘉兴市似大地水准面精化模型进行修正,对修正后的模型进行精度验证,以分析模型修正达到的效果。同时说明为了更好地应用于城市测绘和城市建设,定期对高精度的似大地水准面精化模型进行精度检验和模型维护是非常有必要的。

1 嘉兴市似大地水准面精化模型精度评定与精度复检

在 2011 年~2012 年实施的嘉兴市现代测绘基准体系建设项目中建立的似大地水准面精化模型,其精化工作综合利用了 71 个 GNSS/水准数据和 2619 个点重力数据,以 EIGEN04C 地球重力场模型为参考重力场,采用第二类 Helmert 凝集法完成了似大地水准面计算。71 个 GNSS/水准

数据与重力似大地水准面独立比较的精度为 0.015m。利用球冠谐调和分析方法将 GNSS/水准与重力似大地水准面联合求解得到的 2' 2' 格网似大地水准面,其外符合精度达到 0.009m。该项目均匀覆盖整个精化区域布设了 20 个正确性静态检测点和 73 个动态检测点。同精度正确性静态检测嘉兴市似大地水准面的外符合精度为 $\pm 0.012\text{m}$,实用性检测网络 RTK 高程与其水准高程的较差平均值为 -0.008m ,统计外符合精度为 $\pm 0.022\text{m}$ ^[3]。经过检测各项精度指标均满足设计和相关规范的要求,真正实现了由卫星定位直接获取海拔高,从而提高工作效率,降低测量成本。

2017 年~2018 年在原有控制网基础上组织实施的嘉兴市现代测绘基准体系复测项目,对嘉兴市似大地水准面精化模型的精度进行重新检测,同精度正确性静态检测嘉兴市似大地水准面的外符合精度为 $\pm 0.016\text{m}$,实用性动态成果检测网络 RTK 高程与其水准高程的较差平均值为 -0.008m ,统计外符合精度为 $\pm 0.021\text{m}$ 。

表 2.1 GNSS 检测的模型计算高程与其水准高程比较

检测方式	检测时间	检测点数	最大值(m)	最小值(m)	平均值(m)	外符合精度(m)
GNSS 静态检测	2012 年	20	0.02	-0.022	0	± 0.012
	2018 年	98	0.035	-0.034	-0.005	± 0.016
网络 RTK 检测	2012 年	73	0.043	-0.047	-0.008	± 0.022
	2018 年	94	0.043	-0.052	-0.008	± 0.021

表 2.2 GNSS 检测的模型计算高程与其水准高程比较差值分布区间

检测方式	区间/cm	2018 年检测点		2012 年检测点	
		数目	百分比	数目	百分比
GNSS 静态检测	$0 \leq \Delta h \leq \pm 1.0$	38	39%	11	55%
	$\pm 1.0 < \Delta h \leq \pm 2.0$	43	44%	8	40%
	$\pm 2.0 < \Delta h \leq \pm 3.0$	14	14%	1	5%
	$\pm 3.0 < \Delta h \leq \pm 4.0$	3	3%	0	0%
网络 RTK 检测	$0 \leq \Delta h \leq \pm 1.0$	29	31%	27	37%
	$\pm 1.0 < \Delta h \leq \pm 2.0$	30	32%	14	19%
	$\pm 2.0 < \Delta h \leq \pm 3.0$	25	27%	22	30%
	$\pm 3.0 < \Delta h \leq \pm 4.0$	8	9%	6	8%
	$\pm 4.0 < \Delta h \leq \pm 5.0$	2	2%	4	5%

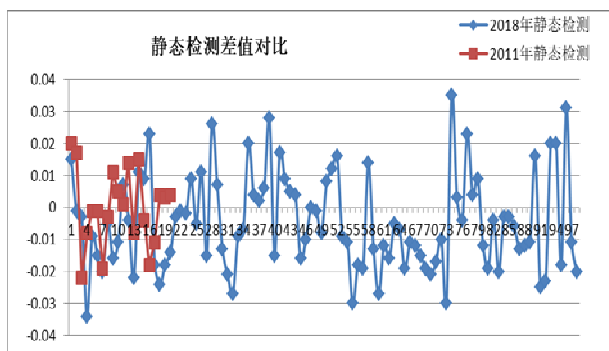


图 2.1 两次静态检测的模型计算高程与其水准高程差值对比图

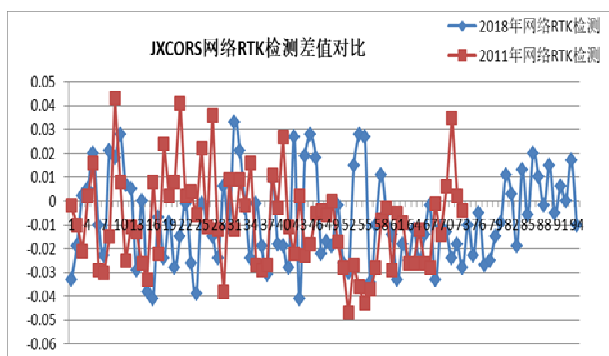


图 2.2 两次网络 RTK 检测的模型计算高程与其水准高程差值对比图

从精化模型建立时的精度评定和时隔 6 年后的再次精度复检说明: 多年来随着城市建设, 受地面建筑群集中负荷增加影响, 嘉兴市似大地水准面精化模型的实用性精度已降低, 但变化不大, 其精度指标仍在设计范围内, 为了维持原有模型精度, 下文尝试用抵消系统差的方法对嘉兴市似大地水准面精化模型进行修正, 以确保为城市测绘提供高精度的水准高转换服务。

2 利用 GNSS 静态检测成果对模型的修正

2.1 修正方法

从表 2.1 可知, 2018 年现代测绘基准体系复测时 GNSS C 级网静态观测方式精度检测成果与 2012 年现代测绘基准体系建设 GNSS C 级网静态观测方式精度检测成果的比较, 在精化水准高与几何水准高的差值的平均值方面两次检测存在 -5mm 系统差, 本修正方案将 2012 年建立的似大地水准面精化模型的每个格网点高程异常值统一加 5mm, 以抵消存在的系统差。

(1) 把 2018 年联测得到的 98 个 GNSS C 级点 CGCS2000 三维坐标内插到 2012 年建立的似大地水准面精化模型中获取每个点的高程异常值, 记为 F。

(2) 利用 2018 年联测得到的 98 个 GNSS C 级点 CGCS2000 三维坐标和其二等水准联测得到的水准高的差值计算得到高程异常值, 记为 G。

(3) 求取 2012 年建立的似大地水准面模型在 2018 年现

代测绘基准体系复测项目控制网点上的改正数 V, $V=F-G$ 。

(4) 根据改正数 V 的值, 构建数学模型, 获取似大地水准面模型每个格网点的改正数, 然后叠加这些改正数到原有精化模型上, 实现每个格网点的高程异常值改正, 从而实现精化模型修正。

2.2 模型修正效果检验分析

似大地水准面精化模型格网点高程异常值修正后, 能否提高精化模型的水准高转换精度, 需要通过检测统计分析验证, 验证方法为采用静态观测和网络 RTK 观测的方法进行精度检测, 在 2018 年实施的现代测绘基准体系复测项目中已有检测数据, 只需调用检测的 CGCS2000 坐标和二等水准高程, 不需要到外业重新采集, 具体统计结果见表 3.1。

表 3.1 模型修正前后精度统计

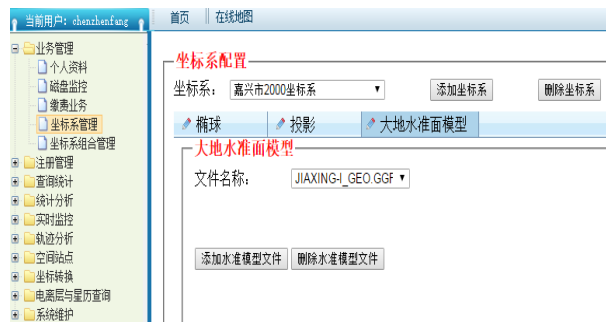
检测方式	检测项	点数	最大值(m)	最小值(m)	平均值(m)	外符合精度(m)
GNSS 静态检测	修正前	98	0.035	-0.034	-0.005	±0.016
	修正后	98	0.029	-0.041	0	±0.015
网络 RTK 检测	修正前	94	0.043	-0.052	-0.008	±0.021
	修正后	94	0.044	-0.052	-0.003	±0.020

从表 3.1 可知, 修正后能进一步提高模型应用精度, 采用静态方式和动态方式检测统计外符合精度都提高了, 说明模型修正达到了预期效果。

2.3 修正后模型数据的更新应用

对修改后的模型文件按 .GGF 格式存储, 以方便在 JXCORS 运维系统中对模型进行调用。JXCORS 运维系统于 2014 年开发运行, 实现了用户管理、收费管理、维护日志管理、统计查询分析、在线监控、轨迹下载、坐标转换、电离层及站点状态查询等功能^[4], 其中坐标转换加载了似大地水准面精化模型, 通过坐标转换获取的水准高是通过嘉兴市似大地水准面精化模型转换获取的。

图 3.1 JXCORS 运维系统通过调用精化模型 GGF 文件得到更新



修改后的模型另外生成 .msk 文件一套, 实现似大地水准面精化模型应用软件对 geoid.msk 文件的读取, 以达到修正后模型的测绘生产应用目的。

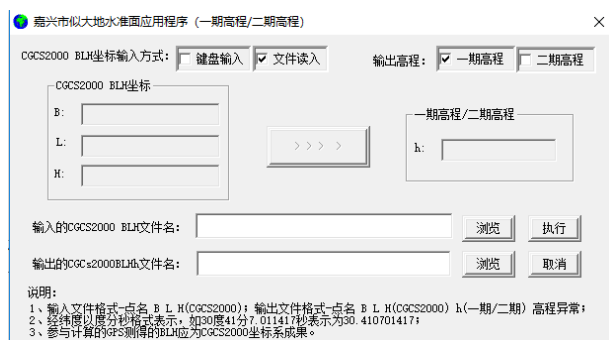


图 3.2 嘉兴市似大地水准面精化应用软件通过调用. MSK 文件得到更新

3 存在不足

通过本文的修正方法,修正后能进一步提高模型的精度,但是也存在着效果不是特别显著的问题。基于以上分析,如要通过 2018 年现代测绘基准体系复测项目的高精度 GNSS/水准成果达到大幅度提高精化模型精度的目的,本文认为利用本次现代测绘基准体系复测的成果,加入重力数据,采用第二类 Helmert 凝集法、球冠谐调和分析方法重新进行数据处理与计算,重新建立覆盖嘉兴市域的 $2' \times 2'$ 格网似大地水准面精化模型,能达到大幅度提高模型精度,但是这种方式工程量太大,代价太高。因此,在已经具备高精度的区域似大地水准面精化模型的情况下,其精度本身已满足规范指标要求,就眼前经费有限工期又紧,采用本次抵消系统差的修正方法也不亏为一种比较实用的修正方式,也达到了维持似大地水准面精化模型精度的目的。

4 结束语

本文基于 2018 年检测成果与 2012 年检测成果的比较,

比较结果说明嘉兴市似大地水准面精化模型精度较高,但是多年来随着城市建设,受地面建筑群负荷增加外界因素影响,导致了模型实用性精度的降低。因此,有必要定期通过精度检测方式分析似大地水准面精化模型实用性精度是否发生变化,并尝试用抵消系统差的方法对似大地水准面精化模型进行修正,对修正后的模型进行精度检测,结果说明能进一步提高实用性精度,该方法既高效实用,又能达到维持嘉兴市似大地水准面精化模型精度的目的,从而确保为测绘生产提供高精度的水准高转换服务,为城市建设保驾护航。

【参考文献】

- [1]李建成.最新中国陆地数字高程基准模型:重力似大地水准面 CNGG2011[J].测绘学报,2012,41(05):651-660+669.
- [2]王解先,季善标,曹月玲,等.建筑群负荷引起的大地水准面起伏及对高程的影响[J].武汉大学学报(信息科学版),2008,(06):616-618+643.
- [3]申仲舒,陶玉林,凌坤,等.嘉兴市似大地水准面精化模型建立[J].浙江测绘,2012,(2):27-31.
- [4]陈振防,陈诚.JXCORS 运维系统设计与实现[C].//2015 年度浙江省测绘与地理信息学会年会论文集.嘉兴市规划设计研究院,2015:13-17.

作者简介:

陈振防(1982--),男,汉族,浙江省嘉兴市人,本科学历,高工,主要研究方向为卫星大地测量与应用。

通讯作者:

王解先

同济大学测绘与地理信息学院:教授,博士生导师。