

省级现代基准动态监测技术研究

刘元¹ 徐阳² 孙栋¹ 李晓红¹

1 山东省国土测绘院 2 山东省地矿工程集团有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i6.1870

[摘要] 现代测绘基准体系对于提高国家乃至地方测绘地理信息保障服务能力,满足经济社会发展需求等具有重要意义。山东省是规划建设现代测绘基准体系最早的省份之一,本文以近几年开展的《山东省大地坐标参考框架及高程参考框架动态监测》项目为基础,系统总结了山东省省级现代基准动态监测的建设过程、技术要点、应用范围等,并通过对比分析等方法总结了优势与不足,为今后省级现代基准建设提供有益经验。

[关键词] 省级基准; 动态监测; 策略研究

中图分类号: X830.2 **文献标识码:** A

Research on provincial modern benchmark dynamic monitoring technology

Yuan Liu¹ Yang Xu² Dong Sun¹ Xiaohong Li¹

1 Shandong Provincial Institute of Land Surveying and Mapping

2 Shandong Geological and Mineral Engineering Group Co., Ltd

[Abstract] The modern surveying and mapping benchmark system is of great significance for improving the ability of national and local surveying and mapping geographic information security services, meeting the needs of economic and social development, and so on. Shandong Province is one of the earliest provinces to plan and construct a modern surveying and mapping benchmark system, this article is based on the project "Dynamic Monitoring of Geodetic Coordinate Reference Framework and Elevation Reference Framework in Shandong Province" carried out in recent years, systematically summarized the construction process, technical points, and application scope of modern benchmark dynamic monitoring at the provincial level, and through comparative analysis and other methods, the advantages and disadvantages were summarized, providing useful experience for future provincial modern benchmark construction.

[Key words] Provincial benchmark; Dynamic monitoring; Operational research

引言

测绘基准是基础测绘的根基,是所有空间位置信息的基本依据和起始源头。大地坐标参考框架及高程参考框架是测绘基准最重要组成部分,维护好大地坐标参考框架和高程参考框架是推动黄河流域生态保护和高质量发展战略的基础保障和基本要求^[1-2]。

我国的大地基准由北斗基准站网和卫星大地控制网建立和维持,通过对北斗基准站网站点及卫星定位点组成的大地基准网的定期整网解算,实现大地基准网的动态更新维持。我国的高程基准由遍布全国的高等级水准点组成,通过与卫星大地控制网的结合测量,实现对大范围高程变化的监测^[3-4]。

山东省是规划建设现代测绘基准体系最早的省份之一。2016年,山东省现代测绘基准体系基础设施(SDCORS)建成,并实施了山东省测绘基准体系优化升级工程项目,对省内现有的测

绘基准基础设施进行了优化和升级,形成了陆海统一的省级测绘基准体系及高精度似大地水准面精化模型。本次项目结合我省基准建设的实际需求,于2019年至2023年完成三期大地坐标参考框架及高程参考框架动态监测,进一步完善了山东省测绘基准可靠性。

1 总体技术路线

本项目首先根据往年采用干涉测量技术的合成孔径雷达技术(INSAR)及二等水准观测资料,确定项目地表形变区范围为黄三角和鲁西南地区,并计划在此区域进行重点监测。

具体技术路线如下:

①在国家现代基准一期工程项目和山东省测绘基准体系优化升级工程项目水准路线基础上,选取水准路线,路线途经主要形变区,并闭合成环,同时保证环线包含非形变区一等基岩水准点和北斗基准站基岩站,实测水准路线上所有水准点^[5]。②在山

东省测绘基准体系优化升级工程项目北斗基准站网站、B级和C级点基础上,沿本项目实测水准路线,选取实测北斗基准站网站(包括大地高变化大的站点)、B级和C级点。③采用基于连续运行参考站的卫星定位静态观测模式,对B级点和C级点进行卫星定位观测,以北斗基准站网站为基准站,进行数据解算,获取控制点2000国家大地坐标系(CGCS2000)成果;④采用二等水准测量对地表形变区内水准点、北斗基准站网站、B级点和C级点进行联测,以一等基岩水准点为起算数据,进行水准数据处理;⑤在上述工作基础上,对成果进行系统分析,形成结论。

2 项目实施

2.1 卫星定位数据采集及数据处理

2.1.1 卫星定位数据采集

大地坐标参考框架动态监测使用大地型全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)接收机,观测采用基于连续运行参考站的卫星定位静态观测模式,采用同步观测、同步搬站的方式整体推进,确保基线长度尽量均匀、网型分布良好。

2.1.2 卫星定位数据处理

(1)数据处理技术流程。①采用观测时间段内的全球GNSS数据对我国周边的国际地球动力学服务机构站点进行联合解算,精化周边的IGS在国际地球参考框架ITRF2014框架下坐标,并选取用于山东省省级北斗基准站网解算的基准控制点。②基于周边IGS站对省级北斗基准站网采用间距分区法进行平行分区,获得分区北斗基准站网站的单日解。多天解联合平差,获得北斗基准站网在ITRF2014下的精确坐标。③对山东省区域内北斗基准站网站进行时序分析,选取分布合理的北斗基准站网站组成后续骨干框架网作为B、C级点数据处理控制网,对B级点和C级点进行处理,形成单日解。多天解联合平差,获得B级点、C级点在ITRF2014框架下的坐标。④采用选取的北斗基准站网站骨干框架站为起算点,计算B、C级点CGCS2000下坐标。

(2)基线解算。采用美国麻省理工学院(MIT)的高精度基线处理软件(GAMIT)10.76版软件。网平差:采用美国麻省理工学院(MIT)的高精度网平差软件(GLOBK)5.12版软件。

(3)基线解精度评定。GAMIT软件采用的是网解(即全组合解),基线解的同步环一般把基线解的标准化均方根误差(nrms)值作为同步环质量评定的一个指标,一般要求nrms值最好小于0.3。

统计GAMIT处理的B级网、C级网基线解算nrms值,均小于0.2。本次解算宽巷整周模糊度固定率均大于90%,窄巷整周模糊度固定率大于80%。

(4)网平差。GLOBK是GAMIT/GLOBK程序的另一个主要组件。GAMIT软件一次只能解算一个时段同步观测站的数据(目前一般一个时段的长度为一天的),将它称为单天解^[6]。不同分区所有的单日松弛解文件(h-file),作为平差的“观测文件”输入GLOBK中,因基线解算中未引入基准,在完成多天解处理后,还必须将多天解结果基于统一基准进行联合平差。

B级网(C级网)平差利用GLOBK软件将包含基本框架网、B级网(C级网)单日松弛解h文件,通过公共站点和卫星进行合并,得到一个包含基本框架网、B级网(C级网)测站、极移和卫星参数的松弛解及方差-协方差矩阵的h文件^[7-8]。然后进行整网平差,平差时采用“拟稳基准方法”进行平差最后得到最终B级网(C级网)所有站点在CGCS2000框架下的坐标。

网平差主要参数设置按照GLOBK软件默认设置执行。

2.2 水准数据采集及数据处理

2.2.1 水准数据采集

高程参考框架动态监测使用高精度数字水准仪及配套标尺,二等水准观测作业前、后及作业过程中均按《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897-2006中6.2的要求进行仪器、标尺检定检验工作。

2.2.2 水准数据处理

(1)各项改正执行情况。2022年,山东省国土测绘院开展了精密水准测量数据处理软件研发,该软件依据《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897-2006,使用公开的海潮模型、固体潮模型、水准面不平行改正计算公式、重力异常改正公式将一、二等水准数据概算处理流程条理化、自动化、程序化,实现了水准数据整理检查、水准概算、数据平差及成果输出等功能^[9-10]。

(2)指标统计情况。①2019年一等水准网与二等水准网构成17个闭合环,利用环闭合差计算的水准测量每千米高差全中误差为 $\pm 1.3677\text{mm}$,满足二等 $\pm 2.0\text{mm}$ 的限差要求。②2020年二等水准网有闭合环10个,由29条水准路线形成10个闭合环,利用闭合环的环闭合差计算的每千米高差全中误差为 $\pm 0.519\text{mm}$,满足二等 $\pm 2.0\text{mm}$ 的限差要求。③2023年二等水准全省水准路线共计拼环60个。全中误差计算使用60个环闭合差、由平差使用的7个起算点组成的21个附和路线闭合差计算,水准测量每千米高差全中误差为: $\pm 1.21\text{mm}$,满足二等 $\pm 2.0\text{mm}$ 的限差要求。

3 结果分析

3.1 大地基准动态监测分析

对2016年山东省级测绘基准优化升级项目、山东省大地坐标参考框架及高程参考框架动态监测项目共同观测的258座GNSS点(CORS、B级、C级)进行大地高沉降比对分析,可知沉降超过0.1米的点位有19座,其中下沉最大的有0.731米,位于金乡县;个别点位有所抬升,抬升最大的0.089米,位于泰山山脉。大地基准框架点沉降的趋势与高程基准框架点沉降的趋势基本相同。

3.2 高程基准动态监测分析

项目对2016年省级测绘基准优化升级项目的水准路线进行了整理,以与本项目完全相同的平差策略进行了平差处理,对两期项目共同观测的水准点进行比对分析,得出以下结论:

①2016年-2023年高程变化小于 $\pm 2\text{cm}$ (2016年最弱点高程中误差为1.37cm,2023年最弱点高程中误差为1.453)的水准点,与设计划定的稳定区相吻合。②山东省高程基准框架点沉降极大值位于东营市北部II沾津20(14),沉降量为1.547m,年沉降量

约19cm。③沉降呈现块状,沉降区域与地壳形变监测项目的沉降区域吻合。

4 总结与展望

4.1 项目成果应用优势

一是为各项重大工程项目的实施提供了框架支持,使这些项目在统一的坐标框架下完成,避免了坐标成果使用混乱的情况出现。并且避免数据重复采集,节约了经济成本和社会资源。

二是成果具有权威性和现势性。本项目严格按照设计书及相关规范执行,并经过严格的“两级检查,一级验收”,项目成果经专家验收后,由山东省自然资源厅向社会发布。

三是项目以往期大地坐标参考框架及高程参考框架观测资料为基础,分析了近年来卫星定位点及水准点的失效情况及沉降情况,为下一步的点位补埋和新一轮的监测提供数据支撑。

目前该项目成果已成功应用于山东省地质灾害调查监测与治理、自然资源调查监测、小清河防洪综合治理工程、全省小型水库雨水工情自动测报和水库安全运行及防洪调度项目等关乎国计民生的重点项目中,产生了巨大的社会效益和经济效益。

4.2 应用局限性及建议

一是高程基准。本项目通过对多期水准、地表形变监测等数据,将山东省高程基准网分为形变区路线、稳定区路线,通过对形变区路线实测和稳定区水准路线的收集,完成了对全省高程基准框架的整体更新,该方法具有成本低、全更新等优点,但同时使得高程基准框架成果时点不统一,成果的协调性有待进一步验证。建议适时开展山东省高程基准网整体复测项目。

二是大地基准。目前山东省大地基准依托北斗基准站、B级、C级卫星定位点共同维持,但是目前B级、C级卫星定位点经过多年使用,失效点位较多,造成网型结构差、观测困难等问题,建议进行新一轮补埋优化。

三是重力基准。目前山东省重力基准主要依靠国家投入建设,国家最新一期重力基准建设项目1606工程在山东分布有基准点7座、基本点10座、引点13座,存在点位稀疏、大量现有重力观测墩资源未整合利用等问题,下一步应适时整合北斗基准站、927重力点、1606工程重力点等资源,在国家重力基准网的基础上建设省级重力基准网。

四是深度基准。目前山东省深度基准依托高程/深度基准转换模型维持,国家长期验潮站和省级长期验潮站在山东省分布不均匀、数据不共享,导致了高程、大地、深度、重力四大基准融合不畅、海洋测绘任务大量布设短期验潮站等问题。建议在省、部共享的基础上,统筹建设长期验潮站、北斗基准站、水

准测量标志、重力观测墩的并置站,在建设深度基准的同时,兼顾四网融合。

五是数字垂直基准。目前山东省数字垂直基准由2015年构建的山东省似大地水准面模型和沿海高程/深度基准转换模型维持。其存在以下问题:上述两模型构建单位、建设时期均不同,导致两模型构建所需的共用数据不一致;山东省似大地水准面模型向海延伸20千米,对山东省领海未能有效覆盖;随着上述模型构建算法的优化、数据源的进一步丰富、计算机算力的提升,上述模型已由建设时的先进水平逐渐变的平庸落后。建议统筹大地基准、高程基准、深度基准、重力基准,构建新一代山东省陆海统筹的数字垂直基准。

[项目资助]

本论文由自然资源部海洋测绘重点实验室开放基金资助(编号:2021B09)。

[参考文献]

- [1]刘经南.连续运行卫星定位服务系统——城市空间数据的基础设施[J].武汉大学学报(信息科学版),2003,28(3):259-264.
- [2]陈俊勇,张鹏,武军.关于在中国构建全球导航卫星国家级连续运行站系统的思考[J].测绘学报,2007,36(4):366-369.
- [3]关沧海,岳昊,赵忠海,等.省级GNSS基准站网动态监测与运行维护策略[J].北京测绘,2022,36(6):822-826.
- [4]刘邢巍,许超铃.基于北斗的现代测绘基准数据综合服务平台设计与实现[J].全球定位系统,2018,43(2):104-108.
- [5]韩红花,黄河三角洲区域地表形变监测研究[J].山东国土资源,2020,36(11):69-72.
- [6]程宝银,陈义.应用GAMIT进行高精度GPS基线数据处理[J].现代测绘,2009,(02):46-48.
- [7]曹炳强,成英燕,等.间距分区法在解算卫星连续运行站数据中的应用[J].测绘通报,2016,(11):15-17.
- [8]邢金玉,金鹏,等.GNSS网基线检核对平差结果的影响[J].北京测绘,2023,37(09):15-17.
- [9]胡圣武,杨旭峰.水准网定权方法的比较[J].北京测绘,2023,37(01):5.
- [10]段艳慧,葛于祥.水准网间接平差及可视化程序设计[J].北京测绘,2022,36(04):5.

作者简介:

刘元(1989—),男,汉族,山东新泰人,硕士研究生,工程师,研究方向:大地测量、海洋测绘等。