

文章编号: 1007-2993(2021)06-0377-05

# 特殊环境下多模 GNSS 技术快速测图 精度分析与应用

周玉坤 段志刚 石光益 侯智军 金野  
(91053 部队,北京 100070)

**【摘要】** 结合某区域测量工程实践,通过对多模全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System,GNSS)快速控制测量不同星座组合定位分析,得出我国北斗导航定位系统在特殊环境下快速获取位置信息可靠、精准;基于多模 GNSS-RTK 与似大地水准面精化融合技术可大大提高道面角点测量效率;在平坦区域对车载 GNSS-RTK 地形测量的精度及工效加以研究评定,提出了实施过程中的关键质量控制点,节约了外业成本,提高了外业测绘的效率。

**【关键词】** 多模 GNSS 测量;车载 GNSS-RTK;道面角点测量

**【中图分类号】** P 229.1

**【文献标识码】** A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2021.06.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Precision Analysis and Application of Multi-mode GNSS Rapid Mapping in Special Environments

Zhou Yukun Duan Zhigang Shi Guangyi Hou Zhijun Jin Ye  
(91053 Troop, Beijing 100070, China)

**【Abstract】** Based on the engineering practice of a certain area, multi-mode global navigation satellite system (Global Navigation Satellite System, GNSS) rapid control and measurement of different constellation were conducted combined positioning analysis, and China's Beidou Navigation Satellite System could obtain position information quickly and accurate in a special environment. Based on the refined fusion technology of multi-mode GNSS-RTK and quasi-geoid, the efficiency of road surface corner measurement could be greatly improved. The accuracy and ergonomics of the vehicle-mounted GNSS-RTK topographic measurement are studied and evaluated in the flat area, and the key quality control points in implementation process is proposed. The costs of field surveying and mapping could be saved and the efficiency could be improved.

**【Key words】** multi-mode GNSS measurement; vehicle-mounted GNSS-RTK; pavement corner measurement

### 0 引言

北斗卫星导航系统(BDS)是我国自主研发、独立运行的卫星导航系统,目前已全球组网成功,为测绘领域实现实时精准定位提供了有效保障<sup>[1-2]</sup>。国内外许多专家学者曾对北斗和 GPS 组合单点定位作了分析和实验,但研究成果均是在卫星分布较好、没有信号干扰的情况下加以研究<sup>[3-6]</sup>,在特殊区域、有干扰源的环境中多模卫星导航系统精度评定与研究较少。此外,区域似大地水准面精化是当前研究的热点,李建成等<sup>[7]</sup>比较分析了动力水准法、静力水准法以及常规大地测量法 3 种方法的优缺点,章传银等<sup>[8]</sup>就 EGM2008 模型在中国大陆适用性进行了实验,为

我国建立区域似大地水准面提供了依据。随着当前多模卫星导航卫星定位系统的出现,对在特殊环境下的区域似大地水准面精化研究不多。基于此,本文结合某区域测绘工程案例,在测区常有干扰源等客观因素带来的有效外业测量时间短的环境下,对多模 GNSS 在特殊环境下快速测绘应用进行分析研究,提高了工效、节省了测量外业直接成本,对同类工程具有一定的参考价值。

### 1 多模 GNSS 快速静态测量

#### 1.1 多模快速静态测量的原理与特点

随着全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System,GNSS)的飞速发展,已形成全球定位

**作者简介:**周玉坤,男,1979年生,汉族,吉林榆树人,硕士,工程师,注册测绘师、监理师、咨询师,主要从事工程测量、海洋测绘及摄影测量的生产、科研与咨询工作。E-mail:151396007@qq.com

系统(GPS、GLONASS、Galileo、BDS)四系统并存的局面,将会提供多个无线电频率的信号<sup>[9]</sup>,采用多模GNSS可显著改善观测几何结构,有利于改善定位精度,同时为快速静态测量提供了精度基础。常规快速静态测量作业方法(1+1模式)为:在测区中部区域选择一个基准站,架设一台GNSS接收机连续跟踪可见卫星,为了确保相邻单元之间流动站的重合点数及可靠性,另一台接收机依次到各控制点流动设站进行往返观测<sup>[10]</sup>,即:顺时针依次观测 $K_1$ 、 $K_2$ …… $K_n$ ,再逆时针依次观测 $K_n$ 、 $K_{n-1}$ …… $K_1$ ,每点观测10 min以上,精准对中点位、量取仪器高,利用南方测绘GNSS数据处理软件进行平差解算。

## 1.2 工程案例与实验分析

实验采用的仪器为国产南方测绘仪器公司生产的测量型GNSS接收机银河6,接收星座为三星系统:GPS(L1/L2)、GLONASS(R1/R2)、BDS(B1/B2)。为了验证多模GNSS快速静态测量的精度和工效,在区域内以经典GNSS静态测量、多模GNSS快速静态测量、GNSS-RTK控制点测量三种方式对同名点位进行测量验证<sup>[11]</sup>,观测过程中严格按照规范要求进行架设仪器、量取天线高并记录卫星分布状况,尽量减少多路径误差。基于此,以测区内同时期建立的E级GNSS静态控制网解算的各控制点坐标为参考真值,E级GNSS静态控制网如图1,包含图2、图3点位基线。

验证方式一:采用多模GNSS快速静态长基线模式,在SZ05控制点架设基准站,另一台移动站分别按SZ04、SZ06、SZ09(已知点)、SZ11、SZ07(已知点)顺序进行快速往返观测,网图见图2,基线长度均值11.5 km。

验证方式二:采用多模GNSS快速静态短基线模式,在SZ03(已知点)控制点架设基准站,另一台移动站分别按K008(已知点)、K009、K010、K011顺序进行快速往返观测,网图见图3,基线长度均值0.36 km。

验证方式三:采用GNSS-RTK控制点测量模式,在测区中部架设基准站,利用控制测区的SZ07、SZ09控制点进行两点校正并在SZ08点检核满足精度后,启用四参数。分别对长、短基线控制点进行观测,求得验证控制点坐标。

在进行数据处理时充分顾及到多模数据的质量和组合关系,考虑到特殊环境下只有BDS系统时的定位精度情况,组合方式及点位 $\Delta X$ 、 $\Delta Y$ 较差见表1,其中 $\Delta D$ 为多、单模所在基线解算后的基线边长与静

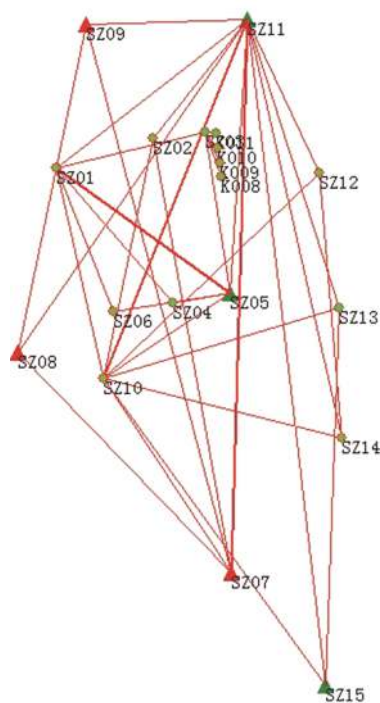


图1 E级GNSS静态控制网



图2 多模GNSS快速静态长基线网

态测量的基线边长较差。从表1中可以看出,对于长基线采用多模快速静态模式时,同经典静态测量同名点位 $\Delta X$ 、 $\Delta Y$ 较差绝对值控制在17 mm,单模快速静态较差控制在25 mm,多模RTK较差控制在20 mm,单模RTK较差控制在30 mm。短基线较差相比之下约为对应长基线的一半。基于此,在不利的条件下,特别是测量区域分散,各区域之间相距10~20 km,要统一各区域坐标系统进行联测,使用GNSS-RTK

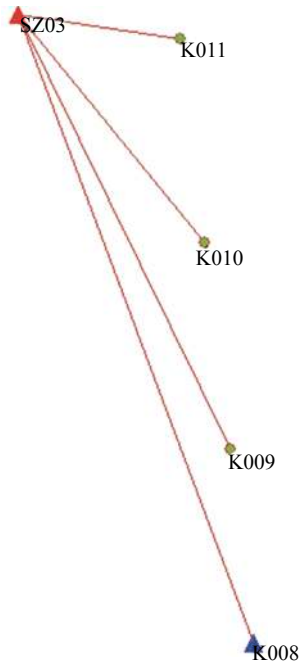


图3 多模 GNSS 快速静态短基线网

又无法得到固定解的情况下(一般有效区域半径为 10 km),可以采用多模 GNSS (1+1)模式进行快速静态测量,相比传统静态模式控制测量,可以提高工效,一般静态模式所需设备要大于 3 台,E 级网静态观测同步时间要 40 min 以上,而快速静态仅需要 2 台,且观测时间较短。从较差来看,对于应急特殊环境,在 BDS 单系统的情况下,解算精度可以满足 1:1000 比例尺地形图测绘的图根控制点测量要求,有利于快速获取所需工程环境的地理信息数据,可极大提高效率<sup>[12]</sup>。

## 2 多模 GNSS-RTK+水准面精化的道面角点测量

项目中需要对已有区域水泥道面分仓角点进行测绘,高程精度要求达到四等,目的是获取改造道面接边处的坡度及关键点高程,为初步设计提供依据。传统方法是采用几何水准的方法,在区域内每 100 m 左右布设水准转点,分区逐一进行角点高程测绘,加

入角点位置信息后成图,该方法工效较低、人员投入大、且面对区域内特殊的外业作业环境,工作出现不连续,重复检核量大,在观测中易带入粗差<sup>[13]</sup>。基于此,对拟测量道面区域采用似大地水准面精化技术展开快速测量<sup>[14]</sup>。

### 2.1 区域似大地水准面模型的建立

首先,利用徕卡 NA2 光学水准仪以三等水准测量精度,联测道面区域四周及中部均匀分布的 10 个角点高程,快速静态获取 10 个点的 GNSS 高程。结合 EGM2008 模型,通过移去-恢复技术得到分辨率高、相对精度高、绝对精度低的重力似大地水准面;然后利用绝对精度高、分辨率低且分布均匀的 10 个 GNSS 水准点完成对重力似大地水准面纠正,采用有效的拟合模型逼近差值曲面,将其与重力似大地水准面叠加,最终得到该区域似大地水准面模型<sup>[15]</sup>。

### 2.2 快速道面角点测量

利用多模 GNSS-RTK 技术,严格进行多点拟合校正,并顾及道面区域似大地水准面模型对角点高程进行后处理改正。外业采集中,为了便于操作并减少对中误差,采用简易对中支架,剔除对中杆底部磨损高度,精准量取仪器高并固定杆高进行道面分仓角点测量,按行列+属性进行角点编码,方便后续内业成图编辑,此次共测量角点高程 10563 点,随后利用徕卡 NA2 光学水准仪以四等水准测量精度均匀抽检、联测 1109 个角点高程,以实测值为真值,同采用多模 GNSS-RTK+水准面精化方法获取的同名点进行高程比较,互差绝对值统计见表 2。

样本中误差约为 10 mm,整个区域角点高程准确表达了道面坡度及接边处信息,满足初步设计用图深度需要。经过测算,采用该方法,在特殊的外业环境、应急用图情况下,可以提高成图效率 3 倍,随着多模 GNSS 技术+似大地水准面精化分辨率的提高,实时获取高精度的空间位置信息将更加方便。

表 1 多、单模快速静态及 RTK 不同星系组合时的点位较差

基线类别	点位	多模快速静态 GPS/GLONASS/BDS			单模快速静态 BDS			多模 RTK GPS/GLONASS/BDS			单模 RTK BDS		
		$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta D$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta D$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta D$	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta D$
长基线	SZ04	-13	12	-15	-18	17	-19	-17	16	-20	-28	23	-29
	SZ05	-10	-14	17	-19	-23	26	-13	-12	16	-19	-21	22
	SZ06	11	-13	15	22	-15	24	16	-10	18	23	-24	26
	SZ11	-16	-11	-18	-18	-16	-21	-16	-13	-19	-25	-22	-28
短基线	K009	7	-6	9	10	-11	15	11	-10	15	14	-13	19
	K010	-8	9	-12	-12	13	-17	-14	15	-20	-16	17	-23
	K011	-9	-7	-11	-14	-13	-19	-13	-12	-18	-16	-15	-22



表2 高程互差绝对值统计表

互差绝对值/mm	分布点数/个	百分比/%
35~40	3	0.03
25~30	25	2.26
20~25	178	16.07
15~20	269	24.27
<15	634	57.18

### 3 多模车载 GNSS-RTK 快速地形测量

本次外业工作中,外业测量施工窗口短,时间紧、难度大,需要高效精准获取基础数据。特别是在特殊的环境下,快速获取所需工程环境中的精准地形信息,快速抢建破损的构筑物等重要设施尤为重要。采用改装的车载 GNSS-RTK 技术可以在特殊环境下实施测量外业点的采集,安全且有防护功能。一是可以对构筑物的绝对三维坐标、尺寸实现实时测绘并传输给决策机构;二是可以利用 BDS 实现特殊环境下的信息采集与传输,提高外业测绘的效率。

#### 3.1 车载 GNSS-RTK 组装与关键质量控制点

在测区内制高点架设基准站,启用四参数模型,在已知点严格校正仪器后进行移动站安装,本次测量载体为勇士车,特殊条件下可根据需要加装防护及姿态调整装置,将移动站固定在测量车后面,尽量垂直于地面,并使移动站主机超过车顶约 30 cm,减少多路径效应对移动站的影响(见图 4)。



图4 改装移动测量车

随后,在测量手簿中启用自动测量模式,按 15 m 距离等距自动采集点位,关键质量控制点为:(1)精准量取天线相位中心与选定参考基点(本次测量选定为车尾部车宽中点处)的位置偏差 $\Delta X$ 、 $\Delta Y$ ,根据需要可用于后续采集特征地物点的位置纠正;(2)精准量取天线高,从三个方向上量取相位中心到测量地形点的

垂直距离,取平均值,精确到厘米(见图 5),此次实测均值天线高为 2.23 m,需要注意的是在测量土面区时要进行天线高改正,减去测量车车辙潜入土中深度,本次测量土面区时改正数为-5 cm;(3)在测量时车速控制在 20 km/h 左右匀速行驶,确保移动站不失锁,在固定解条件下采集数据,时刻观察移动站天线垂直度,若有变化及时修正;(4)在进行自动测量时遇到特殊地形要在手簿中及时标注,在测量点编码中准确录入地形地物变化信息,便于内业成图。车载等距自动测量成图点位均匀,连接便携笔记本电脑可实时内业成图,效率高。测量点位图如图 6 所示。



图5 设置自动测量参数

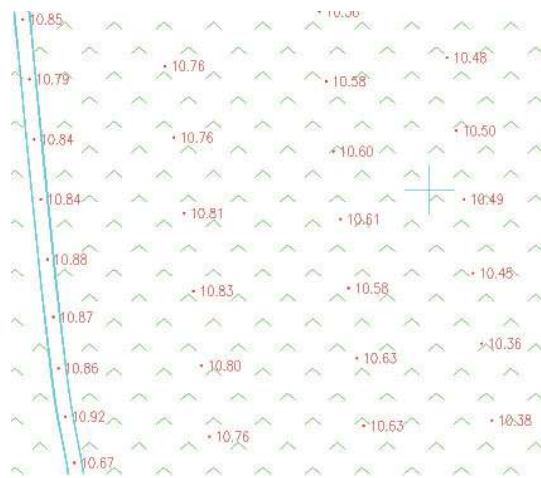


图6 等距离测量点位图

#### 3.2 车载 GNSS-RTK 精度、工效评定

为了检核车载 GNSS-RTK 的点位精度,均匀抽取区域硬化道面和土面区两个区域同名点各 10 个,利用人工 GNSS-RTK 方式进行放样、采集、比较较差结果见表 3。

表 3 不同区域检核点位 $\Delta X$ 、 $\Delta Y$ 、 $\Delta Z$ 较差 mm

检核点号	硬化道面区域/mm			检核点号	土面区区域/mm		
	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$		$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
YH01	-23	19	-26	TM01	25	-22	-45
YH02	27	-21	27	TM02	-26	29	43
YH03	-27	22	-25	TM03	29	26	-41
YH04	26	-29	26	TM04	-31	26	35
YH05	-29	26	29	TM05	21	-31	33
YH06	-21	31	-24	TM06	-26	28	-37
YH07	29	-27	-29	TM07	33	21	-42
YH08	-24	26	21	TM08	-34	27	36
YH09	22	29	-25	TM09	-25	-21	43
YH10	-31	25	-22	TM10	36	27	-35

从中分析看出,两种区域平面 $\Delta X$ 、 $\Delta Y$ 较差绝对值控制在 35 mm,高程 $\Delta Z$ 较差分别控制在 30 mm、50 mm,满足 1:1000 比例尺地形图地形点点位精度要求。分析较差原因,对于土面区粗差主要来源于测量车的微小颠簸,导致在 $\Delta Z$ 较大,因此,控制测量车车速,在地形变化区域减速慢行并实时进行天线高改正,可以有效提高点位精度。此外,对于开阔平坦地物少的区域,车载 GNSS-RTK 地形点测量效率高,按 8 h/天计算,一台移动测量车可以测量 1:1000 比例尺地形图 2 km<sup>2</sup>,工效是人工外业采点的 6 倍,极大地提高了测量效率。

#### 4 结论

针对当前多模 GNSS 系统的特点,结合常用国产 GNSS 设备银河 6 在实际工程中应用和实验数据,得出在特殊环境下利用我国自主研发的北斗卫星导航系统 BDS(1+1)快速静态测量可以进行长距离图根控制点坐标联测,提高了分散区域图根平面控制测量的效率,在应急道面方格网角点测量中利用区域似大地水准面精化技术提高了精度和效率。此外,采用改装的移动测量车进行地形点采集,提出了关键质量控制点,极大提高了平坦区域的外业数据采集效率,

为类似的工程测量提供了快速测绘的解决方案。

#### 参 考 文 献

- [1] 党亚民,秘金钟,成英燕.全球卫星导航系统原理与应用[M].北京:测绘出版社,2007.
- [2] 杨元喜.北斗卫星导航系统的进展、贡献与挑战[J].测绘学报,2010,39(1):1-6.
- [3] 黄丽霞.GPS、北斗卫星导航系统组合单点定位模型及算法[J].电子科技,2014,27(7):23-25.
- [4] 安向东.GPS与北斗伪距单点定位性能对比分析[J].全球定位系统,2014,(3):8-14.
- [5] 陆亚峰,楼立志,马绪瀛,等.北斗与GPS组合伪距单点定位精度分析[J].全球定位系统,2013,(6):1-6.
- [6] 李彬,李征航,刘万科.COMPASS/GPS/GLONASS系统组合在中国区域的仿真分析[J].大地测量与地球动力学,2013,33(6):94-97.
- [7] 李建成,姜卫平.长距离跨海高程基准传递方法的研究[J].武汉大学学报:信息科学版,2001,26(6):514-517.
- [8] 章传银,郭春喜,陈俊勇,等.EGM2008地球重力场模型在中国大陆适用性分析[J].测绘学报,2009,38(4):283-289.
- [9] 魏二虎,刘学习,刘经南.北斗+GPS组合单点定位精度评价与分析[J].测绘通报,2017,(5):1-4.
- [10] 赵春城.GPS快速静态测量技术在陆地测量中的应用[J].中国水运:学术版,2007,(8):177-178.
- [11] GB/T 18314—2001 全球定位系统(GPS)测量规范[S].北京:中国标准出版社,2001.
- [12] GB 50026—2007 工程测量规范[S].北京:中国计划出版社,2008.
- [13] 顾孝烈,鲍峰,程效军.测量学[M].上海:同济大学出版社,2006.
- [14] GB/T 23709—2009 区域似大地水准面精化基本技术规范[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [15] 周玉坤,段志刚,党四效,等.军民融合岛礁无人机测绘及水准面精化方法探讨[J].工程勘察,2016,(2):541-542.

收稿日期:2020-12-10