

doi:10.19306/j.cnki.2095-8110.2024.01.006

# 天线整流罩对 GNSS 观测值与定位精度影响研究

程晓晖<sup>1,2,3</sup>, 赵传宝<sup>1,2,3</sup>, 陈嘉琦<sup>1,2,3</sup>

- 广州市城市规划勘测设计研究院有限公司, 广州 510060;
- 广州市资源规划和海洋科技协同创新中心, 广州 510060;
- 广东省城市感知与监测预警企业重点实验室, 广州 510060

**摘要:**当前大部分城市为保护卫星连续运行参考站(CORS)系统基准站天线安装了整流罩,但天线整流罩对观测值以及基准站坐标影响的研究仍显不足。为解决基于广州 CORS(GZCORS)的网络 RTK 高程测量存在较大偏差的问题,基于 2016—2021 年观测站数据,以及拆除基准站天线罩前后的观测数据质量与定位效果相关分析,对天线整流罩对 GNSS 观测值与高程定位精度的影响进行了深入探究,并分别进行了静态仿动态和城市车载动态定位测试验证。研究结果显示,天线整流罩在一定程度上会增加原始观测值的多路径效应影响,降低约 10% 的数据可用率,并对基准站高程定位结果产生 1~14 cm 的系统性偏差,进而影响用户 RTK 高程定位效果。定位结果显示,拆除基准站天线罩后,基于 GZCORS 的 RTK 水平定位均方根误差(RMS)为 1 cm 左右,高程定位精度 RMS 为 2 cm 左右;城市场景下车辆动态定位精度 RMS 为 15~20 cm,满足车道级定位性能。

**关键词:**天线整流罩;卫星连续运行参考站系统(CORS);多路径效应;高程定位

中图分类号:P2-0

文献标志码:A

文章编号:2095-8110(2024)01-0065-07

## Research on the influence of antenna radome on GNSS observations and positioning accuracy

CHENG Xiaohui<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Chuanbao<sup>1,2,3</sup>, CHEN Jiaqi<sup>1,2,3</sup>

- Guangzhou Urban Planning & Design Survey Research Institute, Guangzhou 510060, China;
- Collaborative Innovation Center for Natural Resources Planning and Marine Technology of Guangzhou, Guangzhou 510060, China;
- Guangdong Enterprise Key Laboratory for Urban Sensing, Monitoring and Early Warning, Guangzhou 510060, China)

**Abstract:** Currently, most reference stations of the satellite continuous operation reference station (CORS) system in cities have installed radomes to protect the antenna. However, the research on the impact of radomes on the observations and reference station coordinates is relatively insufficient. To solve the problem of significant deviation in the network RTK elevation measurement based on Guangzhou CORS (GZCORS), on the basis of the observation station data from 2016 to 2021, as well as the analysis of the observation data quality and positioning effect before and after the removal of the reference station antenna radomes, the impact of antenna radome on GNSS ob-

收稿日期:2023-10-29;修订日期:2023-12-20

基金项目:广州市资源规划和海洋科技协同创新中心项目(2023B04J0301);广东省重点领域研发计划资助(2020B0101130009);广东省城市感知与监测预警企业重点实验室基金项目(2020B121202019)

作者简介:程晓晖(1984—),男,硕士,高级工程师,主要从事大地测量和不动产测绘方面的研究。

通信作者:赵传宝(1992—),男,博士,工程师,主要从事北斗/GNSS精密定位算法与应用方面的研究。

ervation values and elevation positioning accuracy is well-studied, and static station RTK positioning and urban vehicle kinematic positioning tests are conducted to verify. The results show that the antenna radome can increase the multi-path effect of the original observation values to a certain extent, reduce the data availability by about 10%, and produce a systematic deviation of 1~14 cm in the elevation positioning results of the reference station, thereby affecting the user's RTK elevation positioning effect. The positioning results show that after removing the reference station antenna cover, the horizontal positioning accuracy root mean square (RMS) error of RTK based on GZCORS is about 1 cm, and the elevation positioning accuracy RMS is about 2 cm. The RMS of vehicle kinematic positioning accuracy in urban scenes is 15~20 cm, meeting the lane level positioning performance.

**Key words:** Radomes; Satellite continuous operation reference systems (CORS); Multi-path effect; Elevation positioning

## 0 引言

近年来,全球导航卫星系统(global navigation satellite system,GNSS)的不断进步推动了高精度定位、导航与授时(positioning, navigation and timing,PNT)领域迎来新的发展机遇和挑战<sup>[1-2]</sup>。GNSS 凭借其高精度、全天候、广覆盖、低成本以及高效率等特点被广泛应用于军用和民用的各个领域。大众用户以及行业用户对高精度位置服务的需求也在日益增长,在空间环境探索、地学灾害监测与预警、工程建设以及电力、通信和交通等行业发挥着越来越大的作用<sup>[3-5]</sup>。

北斗/GNSS 卫星定位连续运行参考站(continuous operation reference station,CORS)系统是支撑城市空间感知的重要基础设施之一,作为城市坐标框架骨干网的重要组成部分,为城市持续提供高精度时空信息服务<sup>[3]</sup>。在过去 20 年,我国各大城市相继以较高的基建标准建立了各自的 CORS 系统,并向用户提供网络实时动态定位(real time kinematic,RTK)服务,用以支撑城市建设等各类应用。虽然精密单点定位(precise point positioning,PPP)技术能够在不需要基准站的情况下为用户提供全球范围内任意位置的高精度绝对位置信息<sup>[6-9]</sup>,但通常需要 30~60 min 的收敛时间,使其在城市复杂环境下难以实现快速高精度定位。近年来兴起的实时动态精密单点定位(PPP-RTK)技术虽然结合了传统 PPP 与 RTK 技术的优势<sup>[10-11]</sup>,但其在工程应用中还处于起步阶段,且当前市面绝大部分定位设备仍仅支持 RTK 服务,因此,在城市快速高精度定位场景下,网络 RTK 技术仍占主导地位。

目前,城市 CORS 已广泛应用于城市工程测量、滑坡及地面沉降等地灾监测以及无人机航飞等众多

应用场景<sup>[12-14]</sup>。为保护城市 CORS 基准站天线,通常会选择安装天线整流罩,但绝大部分天线整流罩因材质、制作工艺等因素的不同,在保护天线日常工作的同时也会对天线相位中心与观测值的质量产生一定影响。相关研究表明,天线相位中心误差是 GNSS 高精度定位中不可忽视的一项重要误差源<sup>[15-16]</sup>,且对高程分量的影响最为显著<sup>[17-18]</sup>。刘文建等<sup>[19]</sup>研究发现,GPS 信号通过天线罩会发生延时和折射,其影响在水平分量不显著,但在高程方向影响较大。此外,天线整流罩对观测值质量影响的相关研究较少。对此,本文针对过去基于广州 CORS(GZCORS)进行 RTK 测量过程中存在高程分量不准确的问题,从基准站坐标稳定情况、拆除基准站天线整流罩前后对观测值和基准站坐标变化进行了分析,并基于拆除天线整流罩后的 GZCORS 进行了静态仿动态和城市复杂环境下车辆动态定位服务能力方面的测试。

## 1 GZCORS 介绍

GZCORS 原有两套:一套为 2005 年原广州市城市规划局组织建设的“广州市连续运行卫星定位城市测量综合服务系统”<sup>[20]</sup>;另一套为 2006 年原广州市国土资源和房屋管理局组织建设的“广州市连续运行卫星定位服务系统”。2016 年广州市对两套 CORS 进行了优化整合,以“基准统一、网络统一、数据统一”为原则<sup>[21]</sup>,采用天宝扼流圈天线(TRM57971.00)和思托力 SC300 接收机,建立了广州市北斗地基增强系统,站点分布如图 1 所示。

## 2 天线罩对 GZCORS 观测值与高程影响

### 2.1 高程存在的问题

GZCORS 在部分地区长期存在 RTK 定位高程

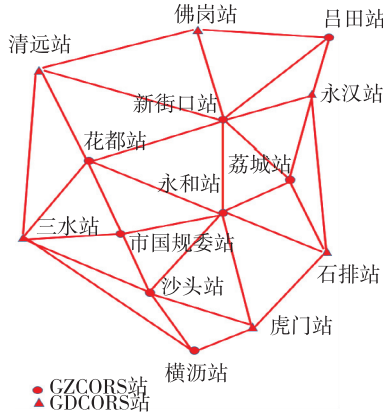


图 1 广州 CORS 站点分布概略图

Fig. 1 Distribution of GZCORS reference stations

测不准的情况,其中东北部吕田站周边 RTK 定位高程偏差在 10~15 cm,南部沙头站周边 RTK 定位高程偏差在 7~9 cm。由于平面坐标定位结果差异均在 1 cm 以内,因此本文仅对高程定位情况展开研究。为验证高程偏差是否是基准站自身高程变化引起的,本文首先以周边部分广东省 CORS 站坐标作为起算基准,并基于 TBC(Trimble Business Center)双差网解对 2017—2021 年连续 5 年的 GZCORS 基准站数据进行解算。图 2 为 8 个基准站高程相对于 2016 年的绝对变化量情况,可以看出高程变化范围在 1 cm 左右,个别站点变化达到 1.6 cm,满足《卫星定位城市测量技术标准》(CJJ/T 73-2019)关于基准站高程年变化量不超过 30 mm 的要求。由此可知,基于 GZCORS 的 RTK 测量高程分量偏差较大的问题并非由基准站自身高程波动引起。

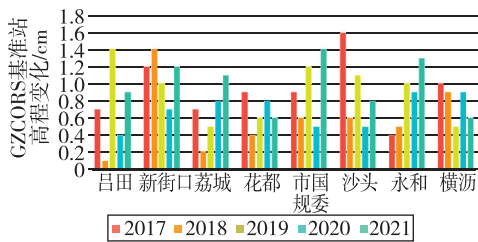


图 2 GZCORS 基准站高程变化

Fig. 2 Elevation variation of GZCORS reference stations

### 2.2 天线整流罩影响

为进一步探究用户 RTK 测量高程偏差较大的原因,在排除基准站自身高程波动因素的影响后,2022 年 6 月首先对吕梁站和沙头站的天线罩进行

了拆除(见图 3),并分析了拆除前后观测数据的变化情况。表 1 和表 2 分别为利用 TEQC 软件分析的吕田站和沙头站天线罩拆除前后观测数据质量变化情况,可以看出拆除天线罩后,基准站的多路径影响显著降低且数据有效率均有明显提升,多路径误差和数据有效率分别如式(1)和式(2)所示。

$$\begin{cases} MP_1 = P_1 + \frac{1+\alpha}{1-\alpha}\Phi_1 \cdot \lambda_1 - \frac{2}{1-\alpha}\Phi_2 \cdot \lambda_2 \\ MP_2 = P_2 + \frac{2\alpha}{1-\alpha}\Phi_1 \cdot \lambda_1 - \frac{1+\alpha}{1-\alpha}\Phi_2 \cdot \lambda_2 \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $MP_1$  和  $MP_2$  分别为 L1 和 L2 频点伪距多路径误差;  $P_1, P_2$  分别为 2 个频点的伪距观测值;  $\Phi_1, \Phi_2$  为 2 个频点的载波相位观测值;  $\lambda_1, \lambda_2$  分别为 L1 和 L2 的波长;  $\alpha = \frac{f_1^2}{f_2^2}$ ,  $f_1$  和  $f_2$  分别为 L1 和 L2 载波的频率。

$$P_{obs} = \frac{N_0}{N} \quad (2)$$

其中,  $P_{obs}$  为测站观测数据有效率;  $N$  为测站一天的理论观测数据历元数;  $N_0$  为测站一天实际观测历元数。



图 3 吕田站天线罩拆除前(左图)、后(右图)

Fig. 3 Before the removal of the radome at LVTN station (left) and after (right)

表 1 吕田站天线罩拆除前后观测质量变化情况

Tab. 1 Observation quality changes before and after the removal of the radomes at LVTN

观测日期	$MP_1/m$	$MP_2/m$	观测数据有效率/%	备注
6月21日	0.45	0.46	86	
6月22日	0.46	0.44	88	拆除天线罩前
6月23日	0.46	0.43	88	
6月25日	0.38	0.39	94	
6月26日	0.37	0.40	96	拆除天线罩后
6月27日	0.38	0.41	96	

表 2 沙头站天线罩拆除前后观测质量变化情况

Tab. 2 Observation quality changes before and after the removal of the radomes at SHAT

观测日期	MP <sub>1</sub> /m	MP <sub>2</sub> /m	观测数据有效率/%	备注
6月24日	0.47	0.49	85	
6月25日	0.49	0.47	86	拆除天线罩前
6月26日	0.48	0.49	85	
6月28日	0.42	0.40	93	
6月29日	0.41	0.42	92	拆除天线罩后
6月30日	0.40	0.41	92	

为探究拆除天线罩后基准站高程坐标分量变化情况,采用2022年6月15~30日观测数据,选取周边广东省 CORS 网中的 ZSGT、QYGY 及 HYG T 站作为起算点,并基于 TBC 进行双差联网解算。表 3 和表 4 分别为天线罩拆除前后吕田站和沙头站高程的变化情况,由表可知,拆除基准站天线罩后,吕田站高程降低约 15 cm,沙头站高程升高约 7.5 cm。

表 3 吕田站天线罩拆除前后高程变化情况

Tab. 3 The elevation changes before and after the removal of the radomes at LVTN m

基准站	有天线罩	拆除天线罩	前后差异平均值
吕田(天线底部)大地高	6月17~23日 208.106	6月25~27日 207.956	-0.149

表 4 沙头站天线罩拆除前后高程变化情况

Tab. 4 The elevation changes before and after the removal of the radomes at SHAT m

基准站	有天线罩	拆除天线罩	前后差异平均值
沙头(天线底部)大地高	6月20~26日 11.642	6月28~30日 11.717	0.075

为进一步分析天线罩对基准站高程坐标分量的影响,继续拆除广州市内其余 6 个 GZCORS 基准站天线罩,同样选取广东省 CORS 网中的 ZSGT、QYGY 及 HYG T 7 天的观测数据进行双差联网解算,并对拆除天线罩前后天线的高程变化进行分析。如表 5 所示,各个站点拆除天线罩前后高程解算结果均发生了变化,其中变化最大的为永和站,高程降低约 11.8 cm;变化最小的为花都站,高程降低约 0.7 cm。

拆除基准站天线罩后,在前期 RTK 测量高程误差较大的吕田站和沙头站周边均匀选取部分已知高程的高等级控制点进行 CORS RTK 测量检测。如表 6 所示,检测点的高程较差均在 4 cm 以

内,符合《卫星定位城市测量技术标准》(CJJ/T 73-2019)相关指标要求。

表 5 6 个 CORS 站拆罩前后高程变化情况

Tab. 5 Elevation changes before and after removal of the radomes of the 6 CORS reference stations

GZCORS 基准站	拆罩前后高程变化/m
新街口	0.043
永和	-0.118
荔城	-0.038
花都	-0.007
市国规委	0.028
横沥	-0.100

表 6 拆除天线罩后 CORS 高程检测

Tab. 6 Elevation detection by RTK after removing the radomes

点名	高程较差/m	备注
S037	0.021	似大地水准面点
S018	0.002	似大地水准面点
S088	-0.032	似大地水准面点
S046	-0.039	似大地水准面点
S077	-0.026	似大地水准面点
S085	0.009	似大地水准面点
S090	-0.029	似大地水准面点
S124	0.030	似大地水准面点
S003	-0.036	似大地水准面点
II508	-0.019	二等水准点
II813	-0.012	二等水准点
II822	0.007	二等水准点
吕从 1	-0.027	二等水准点
II743	0.027	二等水准点

基于上述验证结果,安装天线整流罩后会对基准站坐标高程分量产生系统性偏差影响,且该影响具有持续性。通过查阅历史资料发现,2005 年广州市连续运行卫星定位城市测量综合服务系统建立之初,CORS 站坐标基准解算基于无天线罩状态,后续为加强天线的日常保护而加装天线罩,且未进行天线罩偏差标定,进而对基准站高程基准解算产生了一定影响,致使后续用户基于 GZCORS 的 RTK 测量出现高程偏差较大的情况。



### 3 定位测试

#### 3.1 实验设计

为验证拆除天线罩后的 GZCORS 位置服务性能,分别采用静态仿动态定位与城市车载动态定位两种形式进行测试验证。静态监测站位于楼顶已知点 J001, 布设环境如图 4 所示。监测站使用吉欧双频一体化 GNSS 接收机, 差分位置服务器使用拆除基准站天线罩后的 GZCORS 服务。

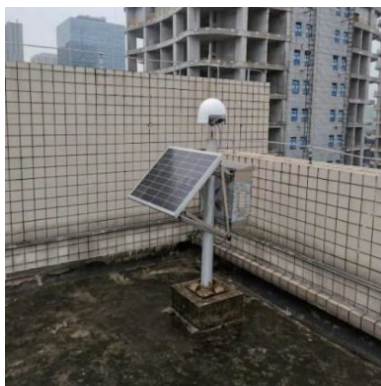


图 4 楼顶静态站示意图

Fig. 4 Scheme diagram of the static station on the roof

车载动态测试地点位于广州市城市路段, 行驶路线如图 5 所示, 车载设备装载情况如图 6 所示。动态定位终端使用吉欧高精度车载定位终端(A2), 并以诺瓦泰高精度惯导为参考基准(S1、S2)。静态仿动态定位与车载动态定位设备和差分位置服务信息如表 7 所示。

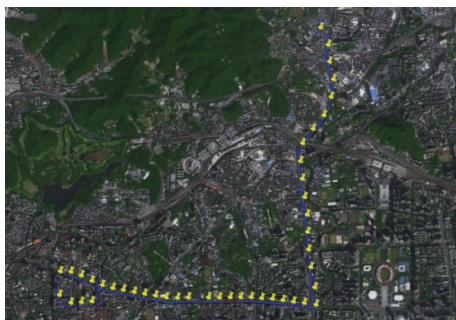


图 5 车载动态定位路线示意图

Fig. 5 The trajectories of the vehicle-borne kinematic positioning experiment

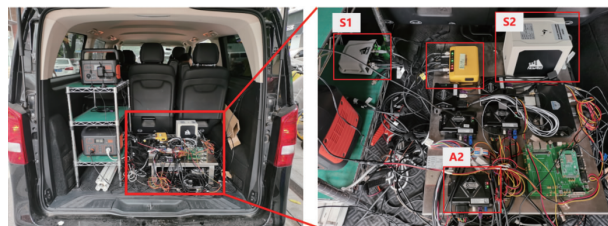


图 6 车载动态定位测试装置示意图

Fig. 6 Scheme diagram of the vehicle kinematic positioning experiment device

表 7 定位测试设备与位置服务信息

Tab. 7 Information of positioning equipment and differential location services

点名	接收机型号	差分位置服务	备注
J001	MIS20	GZCORS	静态仿动态定位
J002	IGV10	GZCORS	车载动态定位
NOTL	PwrPak7-SPAN	千寻位置	动态定位参考基准

#### 3.2 静态仿动态定位

图 7 为 J001 点在 2023 年 11 月 14~16 日静态仿动态 RTK 定位误差时间序列, 东西方向和南北方向定位均方根误差(RMS)分别为 1 cm 和 0.8 cm, 高程方向 RMS 为 2.0 cm, 完全可满足传统城市 RTK 测量定位需求。

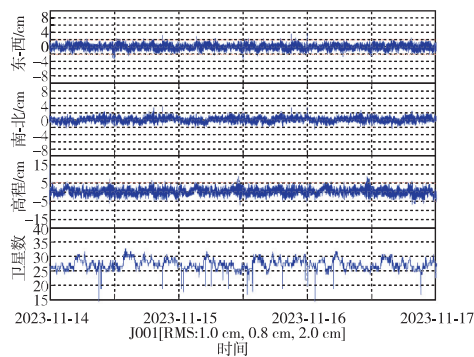


图 7 2023 年 11 月 14~16 日 J001 仿动态定位误差时间序列

Fig. 7 Simulated kinematic positioning error time series of J001 station during November 14-16, 2023

#### 3.3 车载动态定位

图 8 为部分开阔路段测试车辆影像展点示意图。由图可以看出, 车辆动态定位结果与卫星影像

中车辆行驶状况具有较好的一致性。图9为使用千寻位置服务和诺瓦泰 SPAN 高精度惯导组合导航定位结果为参考的定位误差序列图。表8为对应的车载动态定位误差统计表,由统计可知,城市复杂环境下车载水平与高程动态定位精度均在 20 cm 左右。在城市复杂环境下由于高楼、树木以及隧道等遮挡,导致部分时段定位效果较差,但在开阔区域水平与高程定位效果均较好,可满足一般车辆的车道级(分米级)导航定位需求。

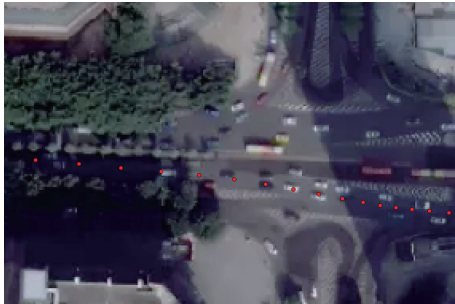


图8 车道级导航定位示意图

Fig. 8 Scheme diagram of lane level navigation positioning

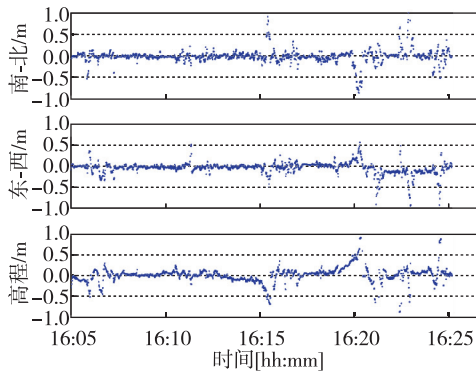


图9 城市场景车载动态定位误差序列

Fig. 9 Positioning error series of the vehicle dynamic testing in urban scenes

表8 城市场景车载动态定位性能

Tab. 8 Kinematic positioning performance of vehicle in urban scenes

	RMS/m		可用率/% (水平<0.3 m)
	北方向	东方向	
	0.173	0.145	95.040

## 4 结论

本文针对基于 GZCORS 的 RTK 高程测量偏

差较大的问题进行分析研究,发现天线罩对观测值多路径效应和基准站的高程定位结果有较大影响。通过拆除天线罩前后分析,分别进行了静态仿动态和车载动态定位测试,得到如下结论:

1) 天线罩对天线相位中心存在较大影响,且对高程方向的影响较大,最大可达十几厘米。

2) 天线罩对天线高程的影响比较稳定,波动在 2 cm 以内,因此在数据处理中可将天线罩影响视为系统偏差处理。

3) 天线罩对天线高程的影响具有不一致性,最大影响接近 15 cm,最小的影响不足 1 cm,且影响方向具有不一致性。

4) 拆除基准站天线罩后的 GZCORS 可满足日常厘米级 RTK 定位服务,并可提供车道分米级导航定位服务。

## 参考文献

- [1] YANG Y, MAO Y, SUN B. Basic performance and future developments of BeiDou global navigation satellite system[J]. *Satellite Navigation*, 2020, 1(1): 1-8.
- [2] 刘经南, 罗亚荣, 郭迟, 等. PNT 智能与智能 PNT[J]. *测绘学报*, 2022, 51(6): 811-828.
- [3] 蔚保国, 鲍亚川, 杨梦焕, 等. 通导一体化概念框架与关键技术研究进展[J]. *导航定位与授时*, 2022, 9(2): 1-14.
- [4] 张小红, 李星星, 李盼. GNSS 精密单点定位技术及应用进展[J]. *测绘学报*, 2017, 46(10): 1399-1407.
- [5] ZHAO C, ZHANG B, ZHANG X. SUPREME: an open-source single-frequency uncombined precise point positioning software[J]. *GPS Solutions*, 2021, 25(3): 1-8.
- [6] LIU T, YUAN Y, ZHANG B, et al. Multi-GNSS precise point positioning (MGPPP) using raw observations [J]. *Journal of Geodesy*, 2017, 91(3): 253-268.
- [7] LI X, LI X, LIU G, et al. Triple-frequency PPP ambi-

- guity resolution with multi-constellation GNSS: BDS and Galileo[J]. *Journal of Geodesy*, 2019, 93(8): 1105-1122.
- [8] TU R, ZHANG P, ZHANG R, et al. Modeling and performance analysis of precise time transfer based on BDS triple-frequency un-combined observations[J]. *Journal of Geodesy*, 2019, 93(6): 837-847.
- [9] ZHANG B, ZHAO C, ODOLINSKI R, et al. Functional model modification of precise point positioning considering the time-varying code biases of a receiver[J]. *Satellite Navigation*, 2021, 2(1): 1-10.
- [10] 李子申, 王宁波, 李亮, 等. 北斗高精度高可信 PPP-RTK 服务基本框架[J]. *导航定位与授时*, 2023, 10(2): 7-15.
- LI Zishen, WANG Ningbo, LI Liang, et al. Basic framework of BDS-based high-precision and high-credibility PPP-RTK service [J]. *Navigation Positioning and Timing*, 2023, 10(2): 7-15(in Chinese).
- [11] ZHA J, ZHANG B, LIU T, et al. Ionosphere-weighted undifferenced and uncombined PPP-RTK: theoretical models and experimental results [J]. *GPS Solutions*, 2021, 25(4): 135.
- [12] 史增凯, 李春燕, 孙小双, 等. 北京市 CORS 网基准站稳定性分析[J]. *导航定位学报*, 2022, 10(1): 64-68.
- SHI Zengkai, LI Chunyan, SUN Xiaoshuang, et al. Stability analysis of Beijing CORS network base station[J]. *Journal of Navigation and Positioning*, 2022, 10(1): 64-68(in Chinese).
- [13] 郑磊, 樊东昊, 易恒, 等. 无人机与 CORS 技术在农村管网测绘项目中的应用[J]. *工程勘察*, 2020, 48(6): 51-55.
- ZHENG Lei, FAN Donghao, YI Heng, et al. Application of UAV and CORS in countryside pipe network surveying and mapping[J]. *Geotechnical Investigation & Surveying*, 2020, 48(6): 51-55(in Chinese).
- [14] 曹炳强, 刘智强, 鲁泽宇, 等. 城市 CORS 系统在地面沉降监测中的应用[J]. *城市地质*, 2022, 17(1): 85-88.
- CAO Bingqiang, LIU Zhiqiang, LU Zeyu, et al. Application of urban CORS system in land subsidence monitoring[J]. *Urban Geology*, 2022, 17(1): 85-88 (in Chinese).
- [15] ARASZKIEWICZ A, VOLKSEN C. The impact of the antenna phase center models on the coordinates in the EUREF permanent network[J]. *GPS Solution*, 2017, 21(2): 747-757.
- [16] 胡新桥, 刘万科, 刘晓磊, 等. 北斗天线相位中心改正策略及其对定位精度的影响分析[J]. *大地测量与地球动力学*, 2018, 38(11): 1137-1142.
- HU Xinqiao, LIU Wanke, LIU Xiaolei, et al. Approach to BDS antenna phase center correction and its influences on positioning[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2018, 38(11): 1137-1142(in Chinese).
- [17] 胡一帆, 胡弦, 陈俊平, 等. GPS 卫星和接收机天线绝对 PCO、PCV 对高精度基线解算的影响分析[J]. *测绘通报*, 2017(5): 11-16.
- HU Yifan, HU Xian, CHEN Junping, et al. Analysis of GPS satellite and receiver antenna absolute PCO/PCV influence on high precise baseline resolution[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2017(5): 11-16(in Chinese).
- [18] 袁曼飞, 谢忠浪. 基于 CORS 的网络 RTK 测量精度分析及影响因素研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 2020, 43(7): 31-33+44.
- YUAN Manfei, XIE Zhongliang. Analysis of measurement accuracy and influence factors of network RTK based on CORS[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2020, 43(7): 31-33+44(in Chinese).
- [19] 刘文建, 彭冬林. CORS 坐标参考框架更新探讨[J]. *测绘通报*, 2017(2): 70-74.
- LIU Wenjian, PENG Donglin. A study of CORS coordinate reference frame updating[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2017(2): 70-74(in Chinese).
- [20] 程晓晖, 欧海平, 刘业光. 广州市 CORS 系统优化整合研究[J]. *测绘地理信息*, 2018, 43(3): 17-19.
- CHENG Xiaohui, OU Haiping, LIU Yeguang. Research on the optimization and integration of Guangzhou CORS[J]. *Journal of Geomatics*, 2018, 43(3): 17-19(in Chinese).
- [21] 祁芳, 程晓晖. 城市 CORS 网络北斗化升级改造关键技术研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 2020, 43(3): 90-96.
- QI Fang, CHENG Xiaohui. Research on key technologies of urban Beidou CORS network's upgrading[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2020, 43(3): 90-96(in Chinese).

(编辑:孟彬)