

区域CORS系统定位精度测试与误差分析

李小龙

上海华测导航科技股份有限公司, 中国·上海 201702

摘要: 随着北斗卫星导航系统的全面发展, 基于 GNSS 的定位技术已经确立。以前占主导地位的单点定位已被高精度网络定位方法所取代。连续运行参考系统 (CORS) 是当今卫星定位的核心, 在测量、建筑和自然保护等各个领域都至关重要。其定位精度决定了测量结果的可靠性。因此, 我们深入研究了城市级 CORS 系统, 为了了解实际精度、误差类型及其传播的情况, 我们使用网络 RTK 实时测量模拟不同地点和情况, 然后通过仔细分析静态定位, 验证了平面和垂直精度。

关键词: 区域 CORS 系统; 网络 RTK; 定位精度

Test and Error Analysis of Regional CORS System Positioning Accuracy

Li Xiaolong

Shanghai Huace Navigation Technology Co., Ltd., China Shanghai 201702

Abstract: With the comprehensive deployment of the BeiDou Satellite Navigation System, GNSS satellite positioning technology has become widely adopted, gradually replacing traditional single-point positioning methods with high-precision network-based solutions. The Continuous Operation Reference Station (CORS) system serves as the core infrastructure for modern satellite navigation, extensively applied in national land surveying, engineering construction, natural resource monitoring, and related fields, where its positioning accuracy directly determines the reliability of mapping outcomes. To accurately assess the operational precision of regional CORS systems and identify the sources and distribution patterns of positioning errors, this study focuses on a municipal-level CORS system. A multi-scenario, multi-point accuracy testing protocol was designed, combining real-time Network RTK positioning with post-processing static solution calculations to conduct systematic evaluations of planar and elevation positioning accuracy.

Keywords: Regional CORS system; Network RTK; Positioning accuracy

0 引言

区域 CORS 系统的定位精度受到参考站位置、大气条件、地形、观测时间和接收器性能等多种因素的影响, 这会导致显著的误差偏差。根据施工现场的位置和情况, 在没有充分了解误差特征的情况下, 往往会错误地依赖制造商的信息。导致测量结果不符合标准或数据严重失真等问题。因此, 有必要彻底检查 CORS 系统在使用区域的定位精度, 准确记录其实际性能, 了解误差来源及其影响。这对于提高测量质量、更正确地使用 CORS 系统并优化维护和管理, 这是一项非常有意义的措施。

1 区域 CORS 系统概述与定位原理

1.1 系统组成

区域 CORS 系统是集卫星观测、数据传输、数据处理、校正信息服务和用户应用于一体的综合定位系统, 由基站系统、数据处理中心、数据传输链路和用户终端四部分组成, 基站系统包括均匀分布在区域内的多个 GNSS 基

站, 每个基站配备高精度接收机和环形天线, 全天候接收卫星信号, 获取原始数据并准备用于差分分解的参考数据, 数据处理中心是系统的核心, 接收基站发送的观测数据并进行预处理、异常点去除、大气误差建模、参考网平差和校正数据生成数据传输路径利用光纤或 4G/5G 网络将基站与中心、中心与用户终端实时连接, 实现校正信号的无延迟传输。用户终端本质上是 GNSS 接收器, 系统在接收到校正数据后进行现场位置计算, 生成高精度坐标。本研究研究的城市区域 CORS 系统共有 12 个基站, 覆盖整个城市区域, 基站之间平均距离约 15km。它支持 GPS、BDS 和 GLONASS, 还可以使用 VRS 和 FKP 等常见校正方法。它可以实现厘米级的实时位置确定, 并通过后处理生成毫米级的静态解。因此, 它适用于从一般测量工作到高精度测量项目的广泛应用。

1.2 网络 RTK 定位原理

当前情况看, CORS 系统区域内, 网络 RTK 定位是

主流定位模式,事实上,与传统单基准站 RTK 不同,网络 RTK 凭借多个基准站组网的优势,在传统 RTK 在作业距离方面受限制、误差累积的问题有效解决了,其核心原理是:首先,各个基准站会持续不断地采集卫星观测的数据,并且马上把这些数据传输到数据处理中心,数据处理中心对多个站点同步观测到的数据进行联合解算,从而构建出区域电离层、对流层的误差模型,拟合出区域空间误差参数,最终生成虚拟基准站的差分数据,而用户终端在进行作业的点位上,一方面接收卫星发出的原始信号,另一方面接收 CORS 差分信号,然后利用差分改正数把卫星轨道误差、大气延迟误差等公共误差消除掉,再通过快速固定模糊度,以此来实现高精度的实时动态定位。网络 RTK 定位可有效削弱区域共性系统误差,大幅提升远距离定位精度,作业覆盖范围更广、稳定性更强,是现阶段区域高精度测绘作业的主要技术手段。

网络 RTK 定位能够对区域共性系统误差起到有效的削弱作用,在很大程度上提高了远距离定位的精度,而且作业覆盖范围更为广泛,稳定性也更加强劲,所以成为了现阶段区域高精度测绘作业所采用的主要技术手段。

2 精度测试方案设计

2.1 测试依据与指标

在本次测试过程中,团队严格依照《卫星定位城市测量技术规范》《GNSS 连续运行参考站系统技术规范》这两项相关标准来开展工作,把区域内高等级 GNSS 控制点的已知坐标当作是真值,然后将 CORS 实时定位得到的结果和这个真值进行相互对比,通过计算坐标偏差的方式来评定定位精度,测试指标详细划分成平面定位精度和高程定位精度,其中中误差被选用作为核心的评定指标。

2.2 测试点位与环境布设

为了能够全面地反映出区域 CORS 系统整体的定位性能,避免出现单一环境测试存在局限性的情况,本次测试综合考虑了不同地形、不同遮挡条件以及不同区域位置等多方面因素,精心挑选了 20 个稳定可靠的高等级控制点作为测试点位,这些点位覆盖了四类典型的场景:第一类是城区开阔地带,在这个地带没有高大的建筑物进行遮挡;第二类是城区遮挡区域,该区域周边存在高层建筑,树木造成的轻微遮挡;第三类是郊区空旷平地,其周边不会有电磁干扰和遮挡的情况;第四类是浅丘陵区域,此区域地形起伏比较大,所有的测试点位都具有稳固的特点,而且视野开阔,不存在强电磁干扰,完全符合 GNSS 观测作业规范的要求,能够为测试数据的有效性提供保障。

2.3 测试设备与作业流程

本次测试使用的是主流的双频 GNSS 接收机,该设备平面的标称精度为 $\pm 1\text{cm}+1\text{ppm}$,高程的标称精度为 $\pm 2\text{cm}+1\text{ppm}$,在测试开始之前,对设备进行了校验工作,目的是确保设备性能处于稳定状态,数据采集能够可靠进行,测试时段特意选择了晴天、多云、阴天这三种常规的气象条件,有意避开了暴雨、大风、雷电等极端天气,在每个点位上,我们连续观测 10 个历元,每个历元之间的间隔为 10s,并且记录下实时定位的 X、Y、H 坐标数据,在剔除掉粗差数据之后,保留下来的就是有效观测数据。

具体的作业流程如下:第一步,提前对测试点位的已知坐标数据进行核查,确认基准成果是准确可靠的;第二步,架设好接收机,做好对中整平工作,然后开机进行预热,保证设备能够稳定地获得固定解;第三步,连接区域 CORS 差分服务,确认差分信号正常、固定解状态稳定;四是按规范采集观测数据,同步记录观测时段、天气、地形、遮挡情况;五是完成所有点位观测后,整理原始数据,对比真值计算各点位坐标偏差,进行精度统计分析。

3 测试数据处理与精度统计

3.1 数据预处理

在本次测试过程中,总共收集 20 个不同测点的数据信息,每个点位均进行了 10 次有效的测量,累计获得多达 200 条的完整观测记录。拿到这些原始数据后,首先进行预先处理,把因为在观测过程中出现差分信号暂时中断、卫星信号意外失锁,或者多路径效应影响过于明显等原因而产生的、明显不准确的粗差数据找出来并剔除掉。进行有效筛选和清理,最终确定下来的质量合格的有效数据,共有 192 条。以已知的、作为基准的控制点的真实坐标值为参照标准,然后对每一条保留下来的观测值,分别去计算它在平面位置上的坐标偏差值,以及在高程方向上的坐标偏差。完成所有单个偏差值的计算之后,再对这些数值进行整体的统计分析。

3.2 整体精度统计

通过数理统计计算,可得出该区域 CORS 系统总体定位精度指标为:平面 X 方向最大偏差最小偏差 0.1mm,中误差;Y 方向最大偏差 2.9mm,最小偏差 0.2mm,中误差 $\pm 1.65\text{mm}$;综合平面定位中误差 ± 1.78 厘米;高程方向最大偏差 6.8mm,最小偏差 0.3mm,中误差。测试结果表明,该区域 CORS 系统整体定位精度稳定,完全满足常规测绘工程的精度要求,如 1:500 比例尺地形测绘、工程放样和地籍测量等,平面精度有显著提高。

3.3 分场景精度对比分析

不同作业场景下的定位精度存在明显差异, 四类测试场景精度统计结果如下: 城区开阔地带点位平面中误差 $\pm 1.21\text{cm}$, 高程中误差 $\pm 2.56\text{cm}$, 精度最优, 稳定性最高, 测量精度均优于城区其它区域; 远郊空旷平地平面中误差 ± 1.45 厘米, 高程中误差 ± 2.89 厘米, 精度比城区开阔地段略有下降; 城区轻微遮挡区域平面中误差 $\pm 2.03\text{cm}$, 高程中误差 $\pm 4.12\text{cm}$, 误差明显增加; 浅丘陵地形区域平面中误差 $\pm 2.68\text{cm}$, 高程中误差 $\pm 5.37\text{cm}$, 在四类场景中具有最低的精度。这说明, 影响 CORS 定位精度的外部重要因素是地形起伏和观测遮挡物, 遮挡物越地形起伏越大, 定位误差就越显著, 且受环境影响的高程精度要比平面精度大得多。

4 区域 CORS 系统定位误差溯源与分析

结合实测数据误差分布特征, 按照误差来源可将区域 CORS 定位误差分为系统误差、环境误差、设备与作业误差三大类, 各类误差的形成机理与影响特征如下。

4.1 系统固有误差

CORS 系统本身存在的基本误差, 主要包括卫星轨道和卫星的时钟偏差, 卫星轨道误差是指卫星实际运行轨道与预报轨道之间的偏差, CORS 系统依靠精确的轨道数据可以大大削弱这种误差, 但不能完全消除, 定位结果会直接传导轨道偏差, 从而产生毫米级到厘米级的误差。卫星的卫星原子钟的计时偏差, 虽然系统会通过时钟偏差模型进行修正, 但残差时钟偏差仍会对定位精度造成轻微的影响, 这类误差属于整个作业区域的全域性系统误差具有较强的波动小的特点, 是定位结果的基本误差来源。

4.2 大气环境误差

影响 CORS 定位精度的环境误差主要是大气延迟误差, 分为电离层延迟误差、折射误差, 也是导致高程误差的最主要原因。电离层延迟误差是受电离层电子浓度的影响, 信号传播速度和路径发生偏移, 卫星信号在穿过高空电离层时产生的误差, 受时段、季节、太阳活动等影响, 白天电离层活动, 电子浓度高, 延迟误差较大, 夜间误差相对较小, 电离层扰动剧烈, 在太阳活动活跃期会导致定位偏差增大, 严重时会导致固定的失效。

对流层折射误差卫星信号穿过对流层时, 由于大气温度、湿度、气压等因素的影响而产生的传播延迟误差, 对流层误差与测站高程、地形起伏等有着密切的关系, 当卫星信号穿过丘陵、山地等地形的高差变化较大, 对流层模型拟合精度下降, 局部大气参数不能精确适配, 致使残差误差明显增加, 这也是此次试验中高程误差超标的主要原因。

同时, 对流层延迟误差将进一步加剧, 阴雨和大雾天气影响下大气湿度增加。

4.3 设备与人为作业误差

设备误差主要来源于用户接收机的天线的设备的老化损耗, 低性能接收机抗干扰能力弱, 卫星信号捕获能力差, 观测噪声大, 会造成定位误差的增大。人为操作误差包括设备架设不规范, 不等待固定解稳就采集数据, 降低定位成果精度的仪器对中整平误差, 观测时长不足, 选择作业点位不当等, 通过定期对设备进行校验, 可以有效地避免这种误差。

5 误差削弱与精度优化措施

5.1 优化 CORS 系统运维与基准站管理

建立区域 CORS 基准站常态化复测机制, 每年对基准站点进行一次整体平差校准, 对坐标漂移误差进行修正, 针对区域边缘基准站点稀疏、模型拟合精度不高的问题, 可在边缘空白区域根据区域作业需求, 增设小型基准站点, 优化基准站点布局, 缩小站点间距, 增强区域全域差分模型的适配精度。

5.2 弱化大气环境误差干扰

针对电离层误差, 避开正午电离层活跃时段开展高精度作业, 优先选择夜间、清晨等电离层稳定时段观测; 太阳活动高峰期, 启用高阶电离层修正模型, 替代传统 Klobuchar 基础模型, 提升电离层误差修正精度。针对对流层误差, 在丘陵、山地等复杂地形作业时, 结合实测气象参数优化对流层延迟模型, 替代标准气象参数拟合, 精准修正局部对流层残余误差, 大幅提升高程定位精度。

6 结语

随着北斗三号系统全面深化应用, 可进一步研究多卫星系统融合定位的精度优化方法, 优化区域差分模型算法, 持续提升区域 CORS 系统的全域适配能力与高精度服务水平, 更好地适配智慧城市、智能监测、精密工程建设等新型高精度应用场景的需求。

参考文献:

- [1] 李克恭, 牛岸英, 张斌才等. CGCS2000 对现有地图使用精度影响分析[J]. 科技信息, 2010(03).
- [2] 张勇, 李岳峰, 徐立东. GPS 相位平滑伪距差分定位中若干问题的探讨[J]. 全球定位系统, 2010(02).
- [3] 孙晓明, 吴邵芳. GPS RTK 单基站和虚拟参考站技术的特征及比较[J]. 城市勘测, 2009(05).

作者简介: 李小龙 (1986-), 汉族, 江苏徐州, 本科, 中级工程师, 研究方向: CORS、PPP 等卫星导航定位相关技术。