

基于 NBCORS 网络 RTK 的 误差分析与质量控制

——以宁波市为例

张旭东,何文峰

(宁波市测绘设计研究院,浙江 宁波 315041)

摘要:基于宁波市连续运行卫星定位服务系统,通过对影响网络 RTK 测量时 GPS 卫星信号传播带来的对流层延迟、电离层延迟以及多路径效应误差分析,提出了减弱和消除其误差影响的有效质量控制措施,旨在提高网络 RTK 定位技术的测量精度。

关键词:NBCORS;网络 RTK;误差分析;质量控制;宁波市

中图分类号:P228.4

文献标识码:B

0 引言

宁波市连续运行卫星定位服务系统(NBCORS)采用 Trimble VRS 技术,由市域 10 个和周边 8 个永久性连续运行基准站,1 个数据中心等组成,覆盖市域及近海范围;系统在全市建立了一个高精度、高分辨率、高覆盖率的 GPS 卫星定位综合服务信息网,为各行各业与地理空间信息有关的活动提供了一个先进的、动态的、统一的空间定位基准。

NBCORS 系统于 2009 年建设完成并对外发布使用。该文基于近几年 NBCORS 网络 RTK 测量技术的广泛应用,在大量的生产实践和测试数据的基础上,对影响网络 RTK 定位精度的各种误差进行了分析研究,并相应提出了质量控制建议。

1 网络 RTK 定位的误差分析

1.1 对流层延迟误差分析

对流层位于大气的最低层,集中了约 75% 的大气的质量和 90% 以上的水汽质量,在中纬度地区平均为 10 ~ 12 km。GPS 卫星信号经过对流层传播至 GPS 接收机时,电磁波信号受中性大气层折射后传播方向发生了变化,形成了近似于一条弯曲多折线,

造成了电磁波信号的传播延迟,称之为对流层延迟。在使用网络 RTK 定位技术时,常规对流层改正模型的高程方向模型偏差受流动站与基准站的高程差异和卫星高度角两方面因素影响^[1-8]。

1.2 电离层延迟误差分析

电离层从离地面约 50 km 开始一直伸展到约 1 000 km 高度的地球高层大气空域,其中存在相当多的自由电子和离子,能使 GPS 信号改变传播速度,发生折射、反射和散射,产生极化面的旋转并受到不同程度的吸收,这种变化称为电离层延迟。

电离层是弥散性介质,电磁波通过电离层传播所产生的传播路径误差与电磁波频率 f 的平方反比。在一天之中,当地中午时间电子密度通常达到每日峰值;而在当地夏天时间,电子密度会达到每年峰值;每 11 年左右,太阳黑子的爆发会导致灾害性天气,此时的电离密度非常高,如 2011 年正好是峰值年,这会给 GPS 测量带来较大误差影响。

1.3 多路径效应误差分析

GPS 信号经由建筑物、水面或其他反射物表面反射抵达接收机天线的干扰信号,经反射的信号路径增长了,其伪距存在系统偏差,致使定位结果不准,称之为多路径效应。多路径效应是一个较大的

收稿日期:2013-07-10;修订日期:2013-07-15;编辑:陶卫卫

作者简介:张旭东(1976—),男,山西运城人,高级工程师,主要从事大地测量及精密工程测量工作;E-mail:zxd162@163.com。

误差源,其一,它和环境有关,水平、金属面反射很强,会导致较大的多路径效应;其二,和信号入射角有关,低高度角信号的多路径效应显著大于高度角多路径效应。这是因为,高度角较高时,多路径效应对宽巷的影响不超过0.5周,而当卫星高度角降到 15° 时,则会出现较大的多路径效应,对计算宽巷会超过1周的影响,从而带来较大的网络RTK定位误差。

上述3个误差是网络RTK测量时与卫星信号传播有关的主要误差来源,其中对流层延迟、电离层延迟是系统误差,具有空间相关性,可以通过建立误差模型加以改正;而多路径效应是偶然误差,不具有空间相关性,需要选观测环境以及采用扼流圈天线屏蔽误差。该文根据实践经验对上述3种误差提出质量控制的方法。

2 网络RTK定位的质量控制

2.1 对流层延迟误差质量控制

关于对流层延迟误差的影响,相关文件研究表明,在卫星高度角小于 15° ,当基准站与流动站的高程差异为100 m以下,则高程偏差影响通常小于5 mm;当高程差异为400 m时,其高程偏差影响可达1 cm;当高程差异为900 m时,其高程偏差影响可达3 cm。对于宁波特有的地区,区域内地形复杂且变化较大,测量时对高程偏差的影响应重要考虑。

(1) 区域内基准站网对流层内插模型改正

NBCORS使用的Trimble VRS RTKNet软件具有对流层变化分析和改正功能,即可以通过对各基准站数据的分析,得到基准站网覆盖区域内的对流层变化信息,采用改进的霍利菲尔德对流层模型(Hopfield)进行建模,通过GPRS发送给用户。

(2) 合理设置卫星高度角

网络RTK定位时,对流层延迟误差受卫星高度角大小因素影响,会引入较大的高程偏差,一般应将卫星高度角设置在 $15^\circ \sim 20^\circ$ 之间,如在空阔的郊区测量,一般选择 15° ,而在高楼大厦的市区应将高度角设置为 20° ,才可以将高程偏差控制在1 cm内。

(3) 改善基准站网站点平均高度

网络RTK定位时,对流层延迟误差同样受流动站与基准站之间的高程差异因素影响,高程差异越大,所带来的流动站定位高程偏差也越大。针对

NBCORS系统的高程分布,研究发现,当关闭和打开最高高程YUYA基准站(820 m)时,流动站所测量的高程差异有4 cm左右。因此,在建设CORS系统时,应顾及区域内的地形特点,各基准站的平均高程应该大致相等且与整个区域的平均高程分布符合。

2.2 电离层延迟误差质量控制

关于电离层延迟误差的影响,在网络RTK作业时,应采取下列3种方法进行质量控制:

(1) 区域内基准站网内插模型改正

NBCORS使用的Trimble VRS RTKNet软件同样具有电离层变化分析和改正功能,即可以通过对各基准站数据的分析,得到基准站网覆盖区域内的电离层变化信息,采用Klobuchar模型进行建模,通过GPRS发送给用户。

(2) 合理选择观测时间

电离层延迟误差受网络RTK观测时间段的选择因素影响。实际网络RTK定位时,一般应选择在太阳光照不强烈的早上12点钟之前,一年之中网络RTK作业应避免炎热的夏天正中午作业。研究也发现夜晚比白天易于测量,早上比下午易于测量。

(3) 利用双频观测

采用双频仪器进行网络RTK作业可以减弱电离层延迟误差,这是因为电离层的影响实际上是信号频率的函数,利用不同频率的电磁波信号进行观测,便可以确定其影响的大小,以便对观测量加以修正。

2.3 多路径效应质量控制

目前针对多路径效应的误差,减弱其影响措施主要有以下几种方法:①应避免较强的反射面;②选择造型适宜且屏蔽良好的天线;③适当延长观测时间;④采用双频、双星、甚至北斗系统接收机进行定位;⑤根据多路径周日变化规律以及信号信噪比与多路径效应变化间的相关性,进行流动站定位的多路径误差建模,以减弱多路径效应的影响,目前这是网络RTK测量时的研究热点。

上述3种针对性的误差消除和减弱方法在广泛的网络RTK应用中,可以有效地提高的网络RTK定位的精度,进而达到质量控制的目的。

3 精度测试

根据上述研究的结论,基于NBCORS系统,采

用网络 RTK 技术针对性在全市范围进行了精度测试,特别是高程方面的精度研究,测试结果如表 1 所示。

从表 1 的统计结果中可以看出,近 1 万 km² 的宁波市似大地水准面精化成果是比较理想的,达到了预期精化的目标。检测过程也表明,采用双星、双时段、避开下午电离层活跃时间、提高卫星高度角、选择良好的观测条件等,可以有效地减弱和消除对流层、电离层以及多路径效应的影响,提高网络 RTK 定位的精度,在工程实践中有很大的指导意义。

表 1 实用性网络 RTK 动态检测结果统计 (cm)

区间	Δh	Δh	Δh	Δh	Δh	Δh	Δh
	$\leq \pm 1.0$	$\leq \pm 2.0$	$\leq \pm 3.0$	$\leq \pm 4.0$	$\leq \pm 5.0$	$\leq \pm 6.0$	$> \pm 6.0$
数目	53	88	105	123	131	132	0
百分比	40%	67%	80%	93%	99%	100%	0%
统计 (m)	最小	最大	平均	标准差 中误差			
	较差	较差	较差				
	-0.036	0.056	0.011	± 0.019	± 0.022		

4 结语

综上所述,通过对影响网络 RTK 测量时卫星传播带来的对流层延迟、电离层延迟以及多路径效应

误差分析,结合 NBCORS 系统,该文提出了减弱和消除其误差影响的有效质量控制措施。相信随着网 RTK 技术的全面完善,作为卫星测量的新技术,将在多个方面替代传统 GPS 作业,特别在卫星测高研究方面,极大提高作业效率,网络 RTK 定位技术在多个领域将会发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] 李成钢,黄丁发,周乐韬,等. GPS/VRS 参考站网络的对流层误差建模技术研究[J]. 测绘科学,2007,(4):31-33.
- [2] 李鹏,熊永良,黄育龙. GPS 定位中电离层折射的影响与消除[J]. 四川建筑,2008,(4):195-197.
- [3] 李成钢,黄丁发,袁林果,等. GPS 参考站网络的电离层延迟建模技术[J]. 西南交通大学学报,2005,(5):45-50.
- [4] 张成军,杨力,常志巧. GPS 网络 RTK 中对流层延迟分析[J]. 测绘科学技术学报,2006,(3):12-14.
- [5] 曹学礼,张旭东,史秀保. 似大地水准面精化成果的检测与探讨[J]. 测绘标准化,2008,(4):366-369.
- [6] 高星伟,刘经南,李毓麟. 网络 RTK 的轨道误差分析与消除[J]. 测绘科学,2005,(2):42-44.
- [7] 李凤霞,吴俐民. GPS 网络 RTK 作业过程中质量控制的研究[J]. 城市勘测,2012,(5):86-87.
- [8] 刘军,许传新,张日田,等. RTK 技术的特点及提高成果精度的技术关键[J]. 山东国土资源,2004,20(3):38-41.

Error Analysis and Quality Control Based on NBCORS Network RTK —Setting Ningbo City as an Example

ZHANG Xudong, HE Wenfeng

(Ningbo Surveying and Mapping Institute, Zhejiang Ningbo 315041, China)

Abstract: Based on Ningbo Continuous Operating GPS system, though analysis on the tropospheric delay, ionospheric delay and multi-path effects of GNSS satellite signal propagation error of Network RTK measurement, effective quality control measurements in order to weaken and eliminate the impact of errors have been put forward in this paper. Thus, measurement accuracy of the network RTK positioning technology can be improved.

Key words: NBCORS; network RTK; error analysis; quality control; Ningbo city