

# 接收机位置误差对 GNSS 定时的影响分析\*

陈婧亚<sup>1,2,3</sup>, 许龙霞<sup>1,2</sup>, 李孝辉<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院国家授时中心 西安 710600; 2. 中国科学院精密导航定位与定时技术重点实验室 西安 710600;  
3. 中国科学院大学 北京 100049)

**摘要:**不准确的接收机位置信息将会影响用户的定时结果。从理论推导和试验两方面研究了接收机位置误差对定时结果的影响。首先理论上通过对伪距观测方程求一阶微分推导出定时接收机位置误差对定时的最大影响量;为排除卫星位置误差的影响,利用 IGS 提供的卫星精确位置,通过引入不同量级的接收机位置误差开展试验,对理论分析结果进行了验证;再通过接收机坐标置偏试验分析不同方向置偏不同量级的位置误差下 GPS/GLONASS 接收机的观测数据,分析了实际运行环境中的位置误差对接收机定时结果的影响。试验结果表明接收机的纬度、经度分量误差均会对定时结果的准确度和稳定度产生影响,纬度误差每增大 1",对 GPS 和 GLONASS 定时准确度的影响分别小于 5、15 ns,对稳定度的影响分别小于 10 和 15 ns;经度误差每增大 1",对 GPS 和 GLONASS 准确度的影响均小于 1 ns,对稳定度的影响均小于 10 ns;高程坐标分量误差每增加 1 m,会出现约 3 ns 的定时偏差,对定时稳定度的影响则最大约 0.3 ns/m。在实际应用中,用户可参考本文的结论根据所需定时精度的需求,考虑定时接收机输入坐标的精确度。

**关键词:** 定时接收机;位置误差;全球导航卫星系统定时;定时偏差

**中图分类号:** TH762.4 TN965.5 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 420.40

## Analysis of receiver position error impact on GNSS timing

Chen Jingya<sup>1,2,3</sup>, Xu Longxia<sup>1,2</sup>, Li Xiaohui<sup>1,2</sup>

(1. National Time Service Center, Chinese Academy of science, Xi'an 710600, China; 2. Key Laboratory of Precision Navigation and Timing Technology, Chinese Academy of science, Xi'an 710600, China; 3. University of The Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Inaccurate receiver position information directly influences the timing results for users. The impact of receiver position error on timing is studied in the terms of both theory and experiment. Theoretically, the biggest impact on receiver position error is obtained by differentiating the pseudo-range equation in the first order. To avoid the influence of satellite position error, the precise satellite positions provided by IGS are used to correct the theoretical results. In experiments, the impact of position error on timing result is also studied by analyzing GPS/GLONASS receiver observation data under the errors in different directions and orders of magnitude. The different situations in the practical scenarios are also analyzed. Experimental results show that the timing accuracy of GPS and GLONASS is less than 5 and 15 ns by every increase of 1 arc second latitude error, and timing stability is less than 10 and 15 ns respectively. The timing accuracy of GPS and GLONASS is less than 1 ns for each additional arc second error of longitude, and both less than 10 ns of timing stability. Every increase one meter of elevation error can cause about 3 ns timing error and the influence on timing stability is about 0.3 ns/m. In the practical applications, users can refer to this conclusion for considering input coordinates of timing receivers according to the demand of timing precision.

**Keywords:** timing receiver; position error; global navigation satellite system (GNSS) timing; timing error

## 1 引言

基于卫星导航系统的定时方法即全球导航卫星系统(global navigation satellite system, GNSS)单向定时法具有服务用户容量不限,且设备成本较低的特点,授时精度最高可达几十纳秒,能满足目前大部分的军用和民用需求,是应用最为广泛的定时方法之一。对用户来说,要使用卫星导航系统提供的定时服务,只需利用一台定时接收机接收导航信号,然后对接收机测量的伪距进行各项误差修正,最终获得用户本地时间和导航系统的系统时间之差<sup>[1]</sup>。虽然大多数类型的定时接收机可以自主定位,但为了保证定时精度,通常需要在运行前输入较精确的位置坐标。通过精确测绘可以获得精度厘米级的位置坐标,相比电离层延迟改正误差等其它误差,对定时结果的影响可以忽略不计。但是坐标的精确测绘成本高,且有滞后性,尤其不适用于移动的用户。因此,必须要考虑接收机的位置误差对定时结果的影响<sup>[2]</sup>。

很多学者的研究涉及了接收机位置误差对GNSS单向定时的影响。文献[3]指出了接收机天线坐标的误差对GNSS单向定时精度的重要性,但文中只是粗略估计了该影响的大小约为3 ns/m;文献[4]分析了多种影响定时精度的误差,但并没有考虑接收机坐标误差的影响;文献[5]详细分析了接收机在高程方向存在的误差对定时精度的影响;但没有考虑纬度与经度方向误差对定时结果的影响。

本文全面分析了接收机位置误差对GNSS定时结果的影响,首先理论推导了接收机位置误差与GNSS定时结果之间的量化关系。然后通过开展两方面的试验进行验证,一方面,为排除卫星位置误差对定时结果的影响,利用IGS提供的精密星历来开展验证。还分析比较了单星定时结果与多星定时结果。另一方面,利用一台GPS/GLONASS接收机,对接收机输入的坐标分别在纬度、经度、高程方向引入不同大小的偏移量,分析了不同大小置偏量对定时的影响。

## 2 接收机位置误差对定时的影响理论分析

以单星定时为例,设用户接收机的位置记为 $(x_u, y_u, z_u)$ ,卫星位置坐标为 $(x_s, y_s, z_s)$ ,位置已知。用户使用GPS接收机接收GPS信号,获得GPS卫星 $s$ 到用户的伪距观测量 $\rho_s$ ,如式(1)所示。

$$\rho_s = r_s + c \cdot (\delta t_u - \delta t_s) + \varepsilon_s^I + \varepsilon_s^T + \varepsilon_s \quad (1)$$

$$\mu = \frac{1}{c} (\sqrt{[x_s - (x_u + \Delta x_u)]^2 + [y_s - (y_u + \Delta y_u)]^2 + [z_s - (z_u + \Delta z_u)]^2} - \sqrt{(x_s - x_u)^2 + (y_s - y_u)^2 + (z_s - z_u)^2}) \quad (6)$$

式中: $r_s$ 为卫星到用户的几何距离, $\delta t_u$ 为接收机时间与GPST的时间偏差, $\delta t_s$ 表示卫星钟与GPST的偏差,电离层延迟 $\varepsilon_s^I$ ,对流层延迟 $\varepsilon_s^T$ , $\varepsilon_s$ 为其他随机误差。经过各项修正,最终获得用户接收机与GPS系统时间的偏差 $\delta t_u$ (含随机误差),如式(2)。

$$\delta t_u = \frac{1}{c} (\rho_s - r_s - \varepsilon_s^I - \varepsilon_s^T) + \delta t_s \quad (2)$$

当输入的接收机坐标 $(x_u, y_u, z_u)$ 存在误差时,会直接影响式(2)中扣除的星地几何距离 $r_s$ ,进而影响接收机钟差值 $\delta t_u$ 。接收机位置误差的大小对定时结果的影响可以通过式(3)表达。

$$d\delta t_u = l \cdot \frac{dx_u}{c} + m \cdot \frac{dy_u}{c} + n \cdot \frac{dz_u}{c} \quad (3)$$

式中: $l = -\frac{x_s - x_u}{\sqrt{(x_s - x_u)^2 + (y_s - y_u)^2 + (z_s - z_u)^2}}$ ,  
 $m = -\frac{y_s - y_u}{\sqrt{(x_s - x_u)^2 + (y_s - y_u)^2 + (z_s - z_u)^2}}$ ,  $n = -\frac{z_s - z_u}{\sqrt{(x_s - x_u)^2 + (y_s - y_u)^2 + (z_s - z_u)^2}}$ 。

于是有  $|d\delta t_u| \leq \frac{\sqrt{(dx_u)^2 + (dy_u)^2 + (dz_u)^2}}{c} \cdot \sqrt{l^2 + m^2 + n^2}$ , 因式中  $\sqrt{l^2 + m^2 + n^2} = 1$ ,  
 故:

$$|d\delta t_u| \leq \frac{\sqrt{(dx_u)^2 + (dy_u)^2 + (dz_u)^2}}{c} \quad (4)$$

记 $\mu_{\max} = ds/c$ ,其中 $ds = \sqrt{(dx_u)^2 + (dy_u)^2 + (dz_u)^2}$   
 则有:

$$|d\delta t_u| \leq \mu_{\max} \quad (5)$$

综上所述,当接收机的位置坐标存在偏差时会直接影响卫星到用户接收机的距离计算,从而对定时结果产生影响,且最大影响量不超过各坐标分量误差的均方根。

## 3 接收机位置误差对定时的影响量化分析

为了量化分析接收机位置误差对GNSS定时的影响,同时避免卫星位置误差的影响,使用IGS精密星历中提供的卫星精确位置,精度为2.5 cm<sup>[6-8]</sup>。通过对接收机位置引入不同量级的误差,分析不同位置误差对用户定时结果的影响。

由上述部分的理论推导可以看出,接收机位置误差对卫星定时的影响主要体现在卫星到用户的距离计算中,定义如式(6)。

式中： $\mu$  为接收机天线位置误差对定时的影响量，根据此值分析接收机位置误差对卫星定时的影响大小。

分析过程如下：

1) 在 IGS 网站下载 MJD 57453 ~ 57455 3 d 的 GPS/GLONASS 卫星精密星历数据文件。

2) 根据 IGS 精密星历提供的每 15 min 一组的卫星位置坐标，以及国家授时中心 (NTSC) 一个已知且精确测绘的站坐标 ( $x = -1\ 735\ 345.588, y = 4\ 976\ 808.359, z = 3\ 580\ 526.374$ ) (单位为 m)，判断在国家授时中心该站点可视的所有 GPS 和 GLONASS 卫星。

3) 将精确测绘的站坐标置偏，置偏向量坐标如下： $(\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u) = (10, 10, 10), (\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u) = (100, 100, 100)$  (单位为 m)。分别以 GPS 卫星 ( $PRN = 8, 13, 20, 25, 30$ )、GLONASS 卫星 ( $PRN = 1, 13, 15, 17, 24$ ) 为例分析站坐标出现十米级、百米级偏差时对定时结果的影响。

4) 将精确测绘的站坐标与精密卫星位置间的距离值转换为时差作为定时结果参考值，计算不同置偏量下可视的 GPS/GLONASS 卫星相对于参考值的偏差，如图 1 ~ 8 所示。图 1 ~ 2, 图 5 ~ 6 所示分别为十米及百米置偏量下 GPS、GLONASS 卫星的定时偏差曲线。图 3 ~ 4, 图 7 ~ 8 所示分别为综合前面 4 幅图中每颗可见星的定时偏差后得到的平均定时偏差曲线。表 1 ~ 6 给出了相应的统计结果(均值和方差)。

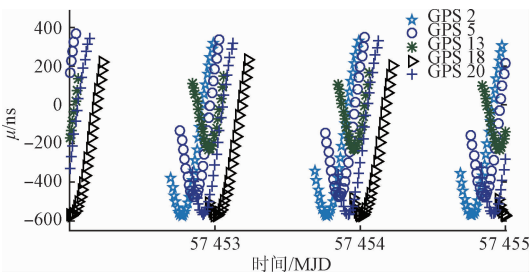


图 1 GPS 卫星单星定时误差变化曲线  
Fig. 1 GPS single satellite timing error

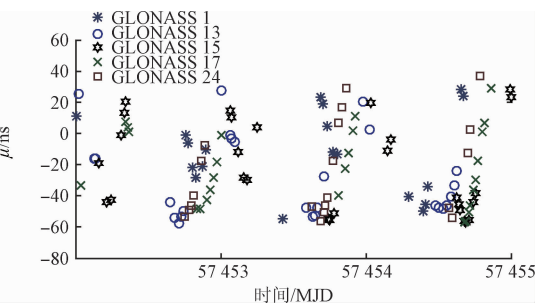


图 2 GLONASS 卫星单星定时误差变化曲线  
Fig. 2 GLONASS single satellite timing error

表 1 GPS 卫星单星定时误差统计

**Table 1 Statistics of GPS single satellite timing error** (ns)

| $\mu$ | 2      | 5      | 13     | 18     | 20     |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大值   | 33.18  | 37.49  | 17.93  | 24.15  | 35.04  |
| 最小值   | -57.20 | -47.79 | -23.03 | -57.29 | -56.54 |
| 均值    | -25.58 | -18.06 | -7.31  | -30.98 | -23.03 |
| 方差    | 29.42  | 26.29  | 12.18  | 25.95  | 30.15  |

表 2 GLONASS 卫星单星定时误差统计

**Table 2 Statistics of GLONASS single satellite timing error** (ns)

| $\mu$ | 1      | 13     | 15     | 17     | 24     |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大值   | 36.35  | 36.24  | 35.62  | 37.48  | 36.81  |
| 最小值   | -55.65 | -57.65 | -57.47 | -57.61 | -57.54 |
| 均值    | -22.89 | -20.89 | -20.54 | -20.77 | -23.83 |
| 方差    | 26.82  | 27.28  | 27.76  | 26.69  | 27.00  |

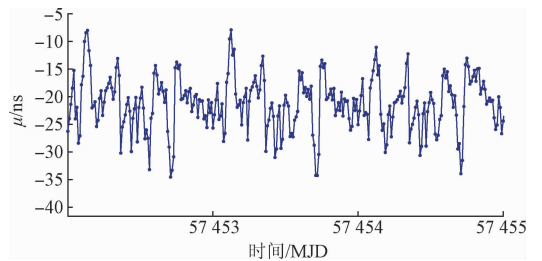


图 3 GPS 卫星多星定时误差变化曲线  
Fig. 3 GPS multi-satellites timing error

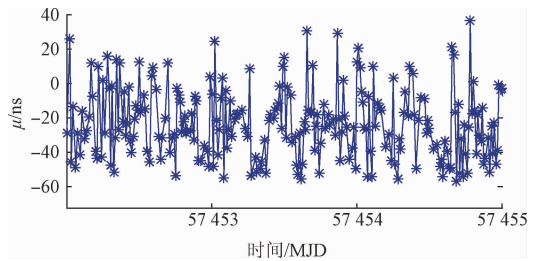


图 4 GLONASS 卫星多星定时误差变化曲线  
Fig. 4 GLONASS multi-satellites timing error

表 3 GPS/GLONASS 多星综合定时误差统计表  
**Table 3 Statistics of GPS/GLONASS multi-satellites timing error** (ns)

| $\bar{\mu}$ | GPS    | GLONASS |
|-------------|--------|---------|
| 最大值         | -6.61  | 36.81   |
| 最小值         | -34.79 | -57.66  |
| 均值          | -21.01 | -22.52  |
| 方差          | 5.00   | 19.58   |

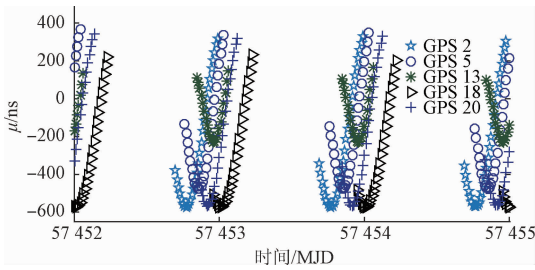


图5 GPS 卫星单星定时误差变化曲线  
Fig. 5 GPS single satellite timing error

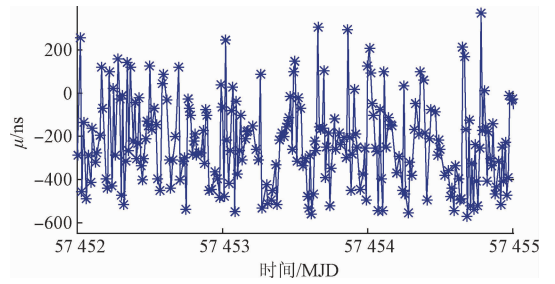


图8 GLONASS 卫星多星定时误差变化曲线  
Fig. 8 GLONASS multi-satellites timing error

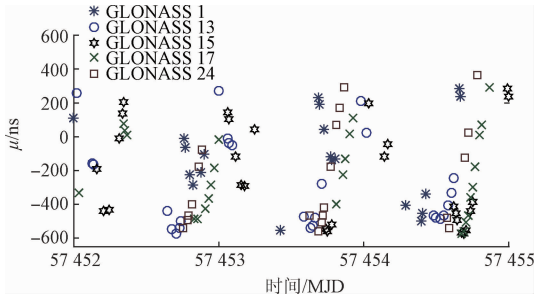


图6 GLONASS 卫星单星定时误差变化曲线  
Fig. 6 GLONASS single satellite timing error

表6 GPS/GLONASS 多星综合定时误差统计表  
Table 6 Statistics of GPS/GLONASS multi-satellites timing error (ns)

|     | GPS     | GLONASS |
|-----|---------|---------|
| 最大值 | -66.07  | 368.15  |
| 最小值 | -347.87 | -576.56 |
| 均值  | -210.06 | -225.15 |
| 方差  | 49.97   | 195.81  |

表4 GPS 卫星单星定时误差统计

Table 4 Statistics of GPS single satellite timing error (ns)

| $\mu$ | 8       | 13      | 20      | 25      | 30      |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 最大值   | 331.79  | 374.93  | 179.31  | 241.54  | 350.43  |
| 最小值   | -572.02 | -477.92 | -230.29 | -572.86 | -565.41 |
| 均值    | -255.75 | -180.60 | -73.10  | -309.75 | -230.31 |
| 方差    | 294.21  | 262.92  | 121.76  | 259.52  | 301.52  |

表5 GLONASS 卫星单星定时误差统计

Table 5 Statistics of GLONASS single satellite timing error (ns)

| $\mu$ | 1       | 13      | 15      | 17      | 24      |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 最大值   | 363.50  | 362.40  | 356.17  | 374.78  | 368.15  |
| 最小值   | -576.49 | -576.53 | -576.73 | -576.10 | -575.42 |
| 均值    | -228.89 | -208.94 | -205.37 | -207.72 | -238.26 |
| 方差    | 268.17  | 272.76  | 277.62  | 266.88  | 269.99  |

对比图和表中的结果可以看出:

1) 对十米位置偏差  $(\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u) = (10, 10, 10)$ , 根据式(5)的推导结果可知,对GPS/GLONASS单星定时结果的最大影响量不超过:  $|\sqrt{(dx_u)^2 + (dy_u)^2 + (dz_u)^2}/C| = 57.74 \text{ ns}$ , 这符合表1和2中的定时偏差结果的统计值。

2) 对百米位置偏差  $(\Delta x_u, \Delta y_u, \Delta z_u) = (100, 100, 100)$ , 根据式(5)可知对GPS/GLONASS单星定时结果的最大影响量不超过:  $|\sqrt{(dx_u)^2 + (dy_u)^2 + (dz_u)^2}/C| = 577.35 \text{ ns}$ , 符合表3和4中的定时偏差结果的统计值。

3) 准确性:对比表1~6中GPS/GLONASS单星和多星定时偏差的统计值可以看出GPS单星定时偏差的准确性不同星间相差大,如果使用多星定时偏差介于单星定时偏差范围内;GLONASS单星定时准确性不同星的结果较接近,使用多星后定时偏差准确性变化也不大;可以看出GPS不同卫星的性能相差比较大。

4) 稳定性:使用GPS/GLONASS多星定时的稳定性明显提高,综合使用的可见星个数越多,定时结果的稳定性越好。GPS多星定时比单星定时稳定性平均提高至少5倍,但GLONASS多星定时的稳定性只提高了约1.4倍。可能的原因是GPS的卫星总数多于GLONASS,同时刻接收机捕获到的GPS卫星数多于GLONASS卫星数。

5) 使用GPS/GLONASS单星定时时,对于一个位置固定的用户来说每颗卫星每天的可见时段仅5~8h,所以不能进行连续定时;当观测的卫星进入不可见时段还

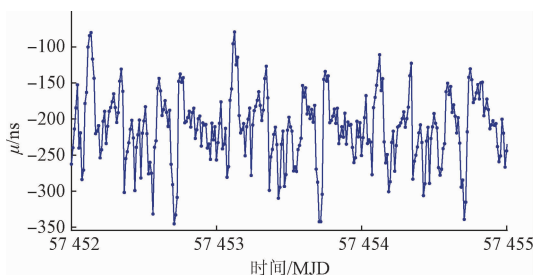


图7 GPS 卫星多星定时误差变化曲线  
Fig. 7 GPS multi-satellites timing error

需对观测卫星进行切换,切换成当前可视的卫星;此外,使用单星定时不同卫星信噪比不同也会影响定时结果;如果使用多星进行定时就会部分或者完全消除上述影响,这也是采用多星定时其准确性和稳定性都优于单星的原因。

### 4 接收机坐标置偏试验分析

为分析位置误差对定时接收机实际运行定时结果的影响,对接收机输入位置坐标分别在纬度、经度、高程分量置偏不同量级的误差,分析定时结果的变化,开展了接收机坐标置偏实验。

实验原理如图9所示,两台同型号 GPS/GLONASS 双模定时接收机<sup>[9]</sup>进行实验,一台作为参考接收机,另一台作为实验接收机,共钟零基线放置(通过功率分配放大器共用同一个天线,两台接收机使用相同的时间参考信号)。两台接收机接收 GPS/GLONASS 卫星信号,每分钟输出一组本地时间与 GPS/GLONASS 系统时间的时差值,即卫星定时结果<sup>[10]</sup>。

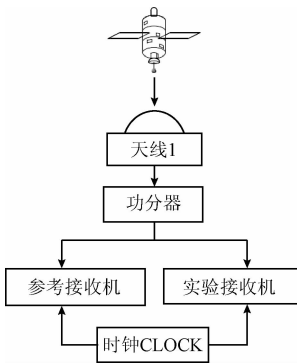


图9 位置坐标置偏实验原理

Fig.9 Schematic diagram of the coordinate offsetting experiment

### 4.1 相对时延校准

实验前首先需要测量两台接收机的相对时延,主要包括参考延迟和接收机内部延迟。采用图9的配置方式进行相对校准可以消除星钟误差、天线及天线电缆的硬件延迟等卫星信号在传播过程中的延迟<sup>[11-15]</sup>。校准一天测得两台接收机的相对时延的均值和方差如表7所示。两台接收机的相对时延作为实验系统的系统差,需要在后面位置坐标置偏实验结果中扣除。

表7 实验接收机与参考接收机的相对时延

**Table 7 Relative delay between lab and reference receiver** (ns)

| 相对时延 | GPS    | GLONASS |
|------|--------|---------|
| 均值   | -97.77 | -102.46 |
| 方差   | 1.65   | 4.47    |

### 4.2 坐标置偏试验

根据表8~10中第2列给出的经、纬、高方向的坐标置偏量,依次修改实验接收机的位置坐标,同时保持参考接收机的精确测绘坐标不变。两台接收机同时运行,获得定时结果。实验起止时间范围为儒略日(MJD)57 696~57 705。实验时手动修改纬度坐标,使纬度坐标按照表8中第2列给出的目标增量依次增大并保证经度和高程坐标值不变。两次置偏坐标的时间间隔为12 h。经度和高程坐标也以相同的方法进行置偏。实验接收机以同时段参考接收机的定时结果为参考,扣除两台接收机的相对时延,分析置偏不同分量、不同大小后对实验接收机定时结果的影响。

置偏纬度、经度、高程坐标分量得到的 GPS 和 GLONASS 卫星的定时偏差曲线如图10~11所示,统计结果如表8~10所示。

表8 纬度误差引起的时间偏差统计表

Table 8 Time difference caused by latitude error

| 序号 | $\Delta Lat/(")$ | dx/m  | dy/m   | dz/m  | $Mean_{GPS}$ | $Std_{GPS}$ | $Mean_{GLONASS}$ | $Std_{GLONASS}$ |
|----|------------------|-------|--------|-------|--------------|-------------|------------------|-----------------|
| 1  | 0.2              | 1.15  | -3.29  | 5.09  | 1.40         | 2.80        | 3.43             | 3.28            |
| 2  | 0.6              | 3.44  | -9.86  | 15.27 | 3.22         | 5.55        | 9.99             | 3.21            |
| 3  | 1.0              | 4.59  | -13.14 | 20.35 | 3.94         | 8.35        | 12.36            | 8.54            |
| 4  | 1.5              | 7.45  | -21.35 | 33.07 | 6.83         | 11.89       | 19.79            | 13.28           |
| 5  | 2.0              | 10.31 | -29.57 | 45.79 | 7.97         | 18.13       | 25.00            | 22.16           |

表 9 经度误差引起的时间偏差统计表

Table 9 Time difference caused by longitude error

| 序号 | $\Delta Lon/(\prime\prime)$ | dx/m   | dy/m   | dz/m | $Mean_{GPS}$ | $Std_{GPS}$ | $Mean_{GLONASS}$ | $Std_{GLONASS}$ |
|----|-----------------------------|--------|--------|------|--------------|-------------|------------------|-----------------|
| 6  | 0.2                         | -4.82  | -1.68  | 0    | 0.30         | 2.44        | 0.04             | 4.99            |
| 7  | 0.6                         | -14.47 | -5.05  | 0    | 0.92         | 4.99        | 0.06             | 5.68            |
| 8  | 1.0                         | -24.13 | -8.41  | 0    | 0.22         | 8.20        | -0.47            | 5.10            |
| 9  | 1.5                         | -36.19 | -12.62 | 0    | -0.05        | 12.27       | -1.78            | 9.23            |
| 10 | 2.0                         | -48.25 | -16.83 | 0    | 1.44         | 14.76       | 1.51             | 16.43           |

表 10 高程误差引起的时间偏差统计表

Table 10 Time difference caused by height error

| 序号 | $\Delta H/m$ | dx/m   | dy/m   | dz/m  | $Mean_{GPS}$ | $Std_{GPS}$ | $Mean_{GLONASS}$ | $Std_{GLONASS}$ |
|----|--------------|--------|--------|-------|--------------|-------------|------------------|-----------------|
| 11 | 0.5          | -0.13  | 0.39   | 0.29  | 1.29         | 1.87        | 1.45             | 4.99            |
| 12 | 1.0          | -0.27  | 0.78   | 0.57  | 2.26         | 1.80        | 1.95             | 5.68            |
| 13 | 5            | 1.36   | 3.9    | 2.83  | 11.47        | 2.17        | 10.50            | 5.10            |
| 14 | 10           | 2.71   | 7.79   | 5.75  | 21.54        | 2.40        | 17.98            | 9.23            |
| 15 | 50           | 13.56  | 38.97  | 28.23 | 103.97       | 9.19        | 103.95           | 16.43           |
| 16 | 100          | -27.17 | 77.93  | 56.45 | 203.89       | 15.79       | 193.50           | 29.52           |
| 17 | 150          | 40.76  | 116.91 | 84.68 | 310.15       | 27.30       | 313.74           | 39.52           |

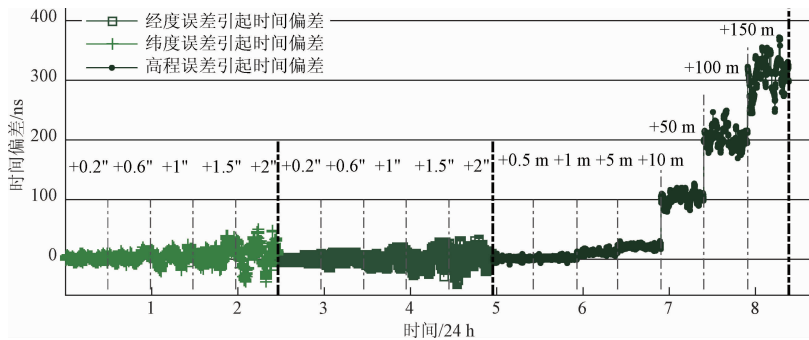


图 10 接收机位置误差引起 GPS 多星定时时间偏差

Fig. 10 GPS multi-satellites time difference caused by receiver position error

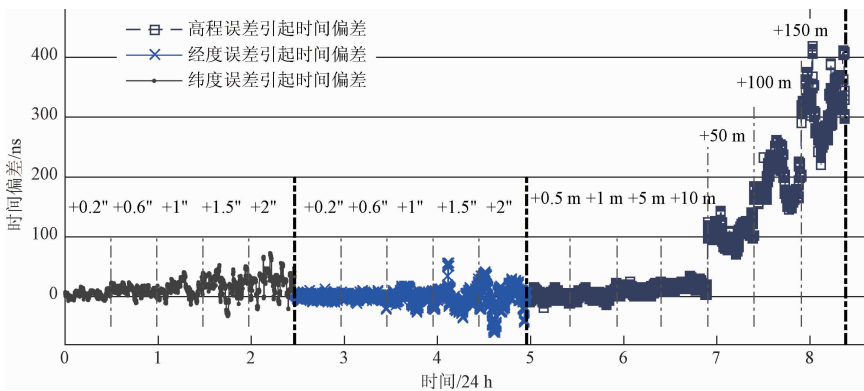


图 11 接收机位置误差引起 GLONASS 多星定时时间偏差

Fig. 11 GLONASS multi-satellites time difference caused by receiver position error

### 4.3 实验结果分析

对每次置偏位置坐标后的定时偏差统计均值和方差,由于在统计时已经扣除了通过相对校准获得的系统误差,所以统计后得到的均值反映了接收机位置误差引起的定时偏差的大小,方差反映了接收机位置误差对定时结果的稳定度的影响,两个指标综合反映出位置偏差对定时结果的影响<sup>[16-17]</sup>。根据4.1节的图和表中的数值可以得到如下的结论。

1) 纬度:对纬度坐标引入 $0.2'' \sim 2''$ 的偏差时,试验结果如表8所示,对地心地固坐标系下的 $Z$ 方向分量影响最大, $X$ 方向坐标分量影响最小。当纬度偏差为 $1''$ 时,不论GPS还是GLONASS卫星,对定时结果准确度的影响均小于20 ns,稳定度影响小于10 ns;对比GPS和GLONASS卫星,纬度偏差对GLONASS卫星定时结果的影响更敏感。

2) 经度:对经度坐标引入 $0.2'' \sim 2''$ 的误差,试验结果如表9所示。经度误差对 $X$ 坐标分量的影响最大,对 $Z$ 坐标分量无影响。当经度误差为 $1''$ 时,不论使用GPS还是GLONASS卫星,对定时结果准确度的影响小于1 ns,稳定度影响小于10 ns;同样对比GPS和GLONASS卫星,从定时结果准确度指标来看,使用GLONASS卫星的定时结果与使用GPS卫星相差不大,但从稳定度来看,GLONASS卫星的定时结果对经度偏差的影响更敏感。

3) 高程:对高程坐标引入 $0.5 \sim 150$  m的偏差,试验结果如表10所示。高程误差对 $Y$ 坐标分量的影响最大,对 $X$ 坐标分量的影响最小。当高程偏差为100 m时,不论使用GPS还是GLONASS卫星,对定时结果准确度的影响均约200 ns,对稳定度的影响GLONASS卫星约为GPS卫星的2倍但小于30 ns。

## 5 结 论

本文对接收机位置误差对GNSS定时的影响进行了理论分析和实验验证。通过本文的试验可知,接收机坐标置偏实验结果表明纬度、经度位置误差每增加 $1''$ ,对定时结果准确度和稳定度的影响都小于15 ns,高程位置误差每增加1 m,对定时结果准确度的影响不超过3 ns,对定时结果稳定度的影响则更小。虽然测量数据和结果是在指定的地点、时段、以及接收机获得,且结果会随接收机接收信号时段和地区变化而有所差异,但不影响本文的基本结论。因此,在实际应用中,用户可参考上述结果根据不同的定时精度需求,采用概略坐标取代精确坐标从而满足不同定时精度用户的需求。

未来北斗作为我国具有自主知识产权的卫星导航系统,依托于它的定时产品也必然会逐渐普及到各行各业。GNSS单向定时因其用户容量不受限制,且成本相对较

低,北斗的GEO卫星在单向定时技术上优于GPS,也会成为未来各行业采用的主流定时方法。本文虽然没有分析接收机位置误差对北斗卫星单向定时的影响,但也可作为北斗二代卫星定时应用做参考。

### 参考文献

- [1] XU L X, LI D D, LI X H, et al. Research on BD nanosecond one-way timing method[C]. China Satellite Navigation Conference (CSNC), 2016.
- [2] 许龙霞. 基于共视原理的卫星授时方法[D]. 西安:中国科学院研究生院(国家授时中心), 2012.  
XU L X. A new common-view based timing method[D]. Xi'an: National Time Service Center, Chinese Academy of Science, 2012.
- [3] LEVINE J. A review of time and frequency transfer methods[J]. Metrologia, 2008, 45(6):S162-S174.
- [4] MEYER F. One-way time transfer using geostationary satellite TDF2[J]. IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement, 1995, 44(2):103-106.
- [5] 单庆晓, 唐洪, 何琴. 北斗和CAPS系统中采用高程作为虚拟星座对授时精度的影响分析[J]. 宇航学报, 2011, 32(4):802-807.  
SHAN Q X, TANG H, HE Q. Timing accuracy analysis of height used as virtual satellite in COMPASS and CAPS system[J]. Journal of Astronautics, 2011, 32(4):802-807.
- [6] KOUBA J. A guide to using international GPS service (IGS) product[J]. Maryland Biological Stream Survey Data Versar Inc, 2002, 4(3):106.
- [7] 许龙霞, 陈婧亚, 李丹丹. 一种卫星双向时频传递设备时延差的标定方法[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(9):2084-2090.  
XU L X, CHEN J Y, LI D D. Calibration method of delay difference of TWSTFT equipments[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(9):2084-2090.
- [8] 陈瑞琼, 刘娅, 李孝辉. 基于改进的卫星共视法的远程时间比对研究[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(4):757-763.  
CHEN R Q, LIU Y, LI X H. Study on remote time comparison based on improved satellite common-view method[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2016, 37(4):757-763.
- [9] 高玉平, 戚素娟. NTSCGNSS-2型/GPS/GLONASS时间传递接收机的性能测试[J]. 时间频率学报, 2008, 31(1):27-35.  
GAO Y P, QI S J. Performance test of GPS/GLONASS time transfer receiver NTSCGNSS-2[J]. Journal of Time and Frequency, 2008, 31(1):27-35.

- [10] PENG H M, LIAO C S, HWANG J K. Performance testing of time comparison using GPS-smoothed P3 code and IGS ephemerides [J]. IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement, 2005, 54 (2): 825-828.
- [11] ROVREA G D, TORRE J M, SHERWOOD R, et al. Link calibration against receiver calibration: An assessment of GPS time transfer uncertainties [J]. Metrologia, 2014, 51(5):476.
- [12] UHRICH P, ROVERA G D, CHUPIN B, et al. Use of two traveling GPS receivers for a relative calibration campaign among European laboratories [C]. Frequency Control Symposium & the European Frequency and Time Forum, 2015:643-648.
- [13] 高小珣, 高源, 张越, 等. GPS 共视法远距离时间频率传递技术研究[J]. 计量学报, 2008, 29(1):80-83.  
GAO X X, GAO Y, ZHANG Y, et al. GPS common view method for remote time and frequency transfer[J]. Acta Metrologica Sinica, 2008, 29(1):80-83.
- [14] 陈瑞琼, 刘娅, 李孝辉. 基于卫星共视的远程时间频率校准系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(1):38-44.  
CHEN R Q, LIU Y, LI X H. Remote time frequency calibration system based on satellite common-view[J]. Journal of Electronic Measurement & Instrumentation, 2016, 30(1):38-44.
- [15] 朱峰, 李孝辉, 张慧君. 基于钟驾驭模式的定时接收机绝对校准[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(9): 1946-1954.  
ZHU F, LI X H, ZHANG H J. Absolute calibration of timing receiver based on clock-steering model [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(9): 1946-1954.
- [16] 叶德培. 时频标准的准确度与不确定度 [C]. 中国卫星导航学术年会, 2016.  
YE D P, Accuracy and uncertainty of time and frequency standard [C]. China Satellite Navigation Conference (CSNC), 2016.
- [17] 赵军祥, 李建辉, 常青, 等. GPS 授时校频方法研究与

试验结果 [J]. 北京航空航天大学学报, 2004, 30(8):762-766.

ZHAO J X, LI J H, CHANG Q, et al. Study on GPS timing and frequency calibration method and the test results [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2004, 30(8):762-766.

## 作者简介



**陈婧亚**, 2013 年于大连交通大学获得学士学位, 现为中国科学院国家授时中心在读博士生, 主要研究方向为共视授时和接收机校准。

E-mail: chenjingya15@mails.ucas.ac.cn

**Chen Jingya** received her B. Sc. degree in 2013 from Dalian Jiaotong University. Now she is a Ph. D. candidate in National Time Service Center, CAS. Her main research interests include common-view one-way timing and receiver calibration.



**许龙霞**, 分别在 2005 年和 2008 年于长安大学获得学士学位和硕士学位, 2013 年于中科院大学获得博士学位, 现为中国科学院国家授时中心助理研究员, 主要研究方向为共视授时与接收机完好性自主监测。

E-mail: xulongxia@ntsc.ac.cn

**Xu Longxia** received her B. Sc. and M. Sc. degree both from Changan University in 2005 and 2008, respectively, and received her Ph. D. degree in 2013 from University of Chinese Academy of Sciences. Now she is an assistant researcher in National Time Service Center, CAS. Her main research interests include common-view one-way timing and RAIM



**李孝辉**, 2004 年于中国科学院国家授时中心获得博士学位, 现为国家授时中心研究员, 主要研究方向为高精度时间频率测量控制方法与技术。

E-mail: xiaohui@ntsc.ac.cn

**Li Xiaohui** received his Ph. D. degree in 2004 from National Time Service Center. Now he is a researcher in National Time Service Center. His main research interests include precision time-frequency measurement control method and technology.