

中国科学引文数据库(CSCD)
 中文科技期刊数据库
 中国核心期刊(遴选)数据库
 日本科学技术振兴机构数据库(JST)

・中国学术期刊(网络版)(CNKI) ・中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED) ・中国提星期刊城出版平台

# GPS/BDS-3系统时差稳定性分析

刘明,涂 锐,洪 菊,苗亚格,李芳馨

# Stability analysis of GPS / BDS-3 system time offset

LIU Mingyue, TU Rui, HONG Ju, MIAO Yage, and LI Fangxin

引用本文:

刘明, 涂锐, 洪菊, 等. GPS/BDS-3系统时差稳定性分析[J]. 全球定位系统, 2022, 47(4): 55-63. DOI: 10.12265/j.gnss.2022055 LIU Mingyue, TU Rui, HONG Ju, et al. Stability analysis of GPS / BDS-3 system time offset[J]. Gnss World of China, 2022, 47(4): 55-63. DOI: 10.12265/j.gnss.2022055

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12265/j.gnss.2022055

## 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

# 北斗三号卫星钟差短期预报与稳定性分析

Short-term prediction and stability analysis of BDS-3 satellite clocks bias 全球定位系统. 2021, 46(3): 39-46

## 基于GLONASS频间偏差的GNSS时差监测方法研究

Research on GNSS time offset monitoring based on GLONASS IFBs 全球定位系统. 2020, 45(4): 21-28

## BDS-3/GPS在遮挡环境下定位性能分析

Analysis of positioning performance of BDS-3/GPS in shadow environment 全球定位系统. 2021, 46(3): 104-110

## GEO卫星对BDS-3伪距单点定位性能定量提升分析

GEO satellite's quantitative improvement analysis of BDS-3 pseudorange single point positioning performance 全球定位系统. 2020, 45(5): 62-66

## BDS-3卫星对BDS全球定位性能提升分析

Analysis on the improvement of BDS-3 satellite to BDS global positioning service 全球定位系统. 2019, 44(6): 35-45

## 北斗三号系统标准单点定位精度分析

Accuracy analysis of standard single point positioning of BDS-3 全球定位系统. 2019, 44(4): 113-118



关注微信公众号,获得更多资讯信息

DOI: 10.12265/j.gnss.2022055

# GPS/BDS-3 系统时差稳定性分析

刘明玥<sup>1,2</sup>,涂锐<sup>1,2,3</sup>,洪菊<sup>1,2</sup>,苗亚格<sup>1,2</sup>,李芳馨<sup>1,2</sup>

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

摘 要:不同卫星导航系统之间时差的稳定性分析对时差的建模预报及应用具有重要价值,因此基于由国际GNSS服务(IGS)中心提供的数据和产品从不同测站、不同观测量、不同时间长度三个方面对GPS和北斗三号全球卫星导航系统(BDS-3)的系统时差进行稳定性分析.结果表明:不同测站因接收机、天线、时钟三种设备型号不同,提取的时差值存在差异,但稳定性相当;基于载波相位观测量解算的时差结果稳定性优于伪距观测量解算的时差结果,伪距得到的时差结果万秒频率稳定度在10<sup>-12</sup>~10<sup>-13</sup>量级,相位得到的时差结果万秒频率稳定度在10<sup>-14</sup>量级;通过单天与多天数据的时差解算结果比较,得到不同时长的时差稳定性一致.

关键词: GPS;北斗三号全球卫星导航系统 (BDS-3);时差监测;单站空间信号法;稳定性中图分类号:P228.4 文献标志码: A 文章编号:1008-9268(2022)04-0055-09

# 0 引 言

随着全球卫星导航系统 (GNSS) 的不断发展和 完善, GNSS 所提供的定位、导航和授时 (PNT) 等服 务已成为当今社会不可或缺的一部分<sup>[1]</sup>. 目前在轨运行 的 GNSS 主要有美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS、 欧洲的 Galileo 和中国的北斗卫星导航系统 (BDS). 多 GNSS 兼容互操作是当前卫星导航的发展态势也 是研究热点, 而系统间的时差监测分析是实现 GNSS 兼容互操作的基础前提<sup>[2]</sup>. 系统间时差是由于 不同的卫星导航系统都有各自的系统时,但不同导航 系统时间的产生机制、时间尺度算法和溯源方式不 相同, 从而导致不同导航系统的系统时存在着几十纳 秒的差异, 该差异称为系统间时差<sup>[3]</sup>.

目前国内外学者对 GNSS 间时差监测的研究大 多针对时差监测方法、时差监测精度评估以及时差 应用等方面. 陈俊平等<sup>[4]</sup>分析了目前 GNSS 系统间时 差监测主要的方法,并进行 GPS/GLONASS 系统时 差解算,最后将 GNSS 的系统时差应用到多模导航定 位,详细讨论了 GPS/GLONASS 时差以及测站硬件 延迟. 于碧云<sup>[5]</sup>研究了 Galileo 系统时差监测与数据 处理方法,同时验证 GPS/Galileo 系统时差在组合导 航中的应用. 章洁君等<sup>[6]</sup>比较基于 GNSS 空间信号的 三种时差监测方法, 在距离不同的时间实验室之间进 行时差试验, 分析不同方法时差监测结果的差异. 同 时, RICARDO 等<sup>[7]</sup> 分析了对 GIOVE-A 和 GIOVE-B 两 颗实验卫星的组合定位精度以及时间偏差. MOUDRAK 等<sup>[8]</sup> 提出系统时差在组合导航定位中的应用的必要 性, 并对比利用广播星历进行组合导航定位的精度.

时差监测结果对于多系统兼容互操作是必不可 少的一个环节<sup>[9-10]</sup>,同时,时差的稳定性在一定程度 上影响着多系统融合的应用情况<sup>[11]</sup>.在多系统 GNSS 时差结果实时预报应用中,时差稳定性是一个十分重 要的影响因素<sup>[12-13]</sup>.然而,当前在时差稳定性分析方 面的相关研究较少.

此外,北斗三号全球卫星导航系统 (BDS-3) 于 2020 年 7 月全面建成并开始提供全球服务, GPS 与 BDS-3 的时差分析对实现 GPS 与 BDS-3 之间的兼容互操 作,为全球用户提供更加优质的服务提供支撑作用.因 此,本文将对 GPS 与 BDS-3 系统时差稳定性进行分析.

由于不同测站数据质量存在差异,导致某些天数 据不能正常解算,但整体变化趋势分析不受个别结果 的影响,因此论文选用 13 个国际 GNSS 服务 (IGS) 中心的测站从年积日第 183—220 天其中 30 天的数据

收稿日期:2022-04-06

资助项目:国家自然科学基金项目(41674034, 41974032) 通信作者:涂锐 E-mail: turui-2004@126.com

和产品,分别采用伪距法和相位法获得钟差结果,再通 过单站空间信号法得到系统时差监测结果,从设备型 号、观测量、时间长度三个方面进行时差的稳定性分析.

# 1 时差监测方法

要分析 GPS 和 BDS-3 系统间时差稳定性,首先 要得到两系统间的时差结果.本文采用单站空间信号 法以获得 GPS 和 BDS-3 的时差值.

单站空间信号法是指单一测站的多模接收机通 过接收卫星导航系统信号,对该信号经一系列处理后 得到原始观测数据,然后再解算得到卫星导航系统时 间与接收机本地参考时间之间的钟差,利用不同导航 系统数据得到的钟差值作差即可得到系统时差<sup>[14-15]</sup>. 空间信号法的原理如图1所示,解算方式如式(1)所 示.本文分别解算 GPS 和 BDS-3 单系统时间与接收 机本地参考时间之间的钟差,再将钟差值作差后得 到 GPS 与 BDS-3 两个导航系统之间的时差结果.



$$T_{\text{GPS}} - T_{\text{BDS-3}} = (T_{\text{Ref}} - T_{\text{BDS-3}}) - (T_{\text{Ref}} - T_{\text{GPS}})$$
$$= \delta_{T_{\text{R,BDS-3}}} - \delta_{T_{\text{R,GPS}}}.$$
(1)

式中:  $T_{GPS}$ 为 GPS 系统时间;  $T_{BDS-3}$ 为 BDS-3 时间;  $T_{Ref}$ 为接收机本地参考时间;  $\delta_{T_{R,BDS-3}}$ 为接收机本地参 考时间与 BDS-3 时间之间的时差值;  $\delta_{T_{R,GPS}}$ 为接收机 本地参考时间与 GPS 时间之间的时差值<sup>[16]</sup>.

为得到接收机本地参考时间与 GNSS 系统时间之间的钟差值,本文分别采用伪距法和相位法进行解算<sup>117</sup>.

伪距法以测距码为观测量进行测距.该方法是卫 星导航定位中最基本的方法,具有解算速度快、解算 结果唯一等优势,但测量精度有限<sup>118</sup>.观测方程为

$$\widetilde{\rho} = \rho_{\rm R}^{\rm S} + c \cdot (\delta_{t_{\rm R}} - \delta_{t^{\rm S}}) - \tau_{\rm ion} + \tau_{\rm trop} + \varepsilon.$$
(2)

式中: $\tilde{\rho}$ 为伪距观测值; $\rho_{R}^{s}$ 为卫星 S 至接收机 R 的几 何距离;c为光速; $\delta_{T_{R}}$ 为接收机钟相对于标准卫星导 航系统时间的偏差, $\delta_{T^{s}}$ 为卫星钟相对于标准卫星导 航系统时间的偏差; $\tau_{ion}$ 为电离层延迟; $\tau_{trop}$ 为对流层 延迟; $\varepsilon$ 为观测误差. 相位法以载波相位为观测量进行测距,载波相位 观测量是卫星导航系统接收机接收的卫星载波信号 与接收机本振信号的相位差,再乘以波长,可以得到 卫星至接收机的粗略距离<sup>16</sup>,观测方程为

 $\lambda \varphi = \rho_{\rm R}^{\rm S} + c \cdot (\delta_{t_{\rm R}} - \delta_{t^{\rm S}}) + \lambda N_{\rm R}^{\rm S} - \tau_{\rm ion} + \tau_{\rm trop} + \varepsilon.$ (3)

式中: $\lambda$ 为载波观测量的波长; $\varphi$ 表示相位差; $N_{R}^{s}$ 表示 整周模糊度.

本文采用 IGS 提供的精密产品和观测数据,利 用双频无电离层组合观测消除电离层误差,将对流层 干分量延迟误差和部分湿分量延迟误差、相对论效 应、地球自转误差、天线相位缠绕误差、地球潮汐误 差等进行模型改正,卫星端和接收机端的天线相位中 心使用 IGS 提供的 igs14.atx 文件进行改正<sup>119</sup>,对流 层残差采用随机游走过程估计,并强约束测站坐标, 通过标准单点定位求解得到伪距法的时差结果,通过 精密单点定位 (PPP) 求解得到相位法的时差结果<sup>118</sup>. 同时,采用正反二次解算来减小载波相位模糊度收敛 对结果的影响.

# 2 实验结果分析

## 2.1 不同测站设备对时差稳定性影响分析

每个 GNSS 测站所采用的设备存在差异,为研究 该差异是否对系统时差稳定性产生影响,选取 13 个 IGS 测站年积日从第 183—220 天其中 30 天的数据进 行分析,数据采样间隔为 30 s,软件采用自研的 GNSS 精密时差分析软件.根据设备型号将所选测站分为四 组,分别为型号完全相同组、接收机型号不同组、天线 型号不同组、时钟型号不同组,测站和设备详细信息 如表 1 所示.

对四组测站分别采用伪距法和相位法两种方式 解算 GPS/BDS-3 系统间时差,图 2~3 分别为各测站 第 183 天伪距法和相位法解算的时差结果,图 4~5 分别为各测站 30 天伪距法和相位法解算的时差结 果.由图可知,不管是伪距法还是相位法,不同的设备 型号对时差结果稳定性的影响较小.然而,由图 4~5 可知,第 23 天的时差结果发生一个跳跃性波动,发生 该变化的测站采用接收机型号均为 SEPT POLARX5 型接收机,该现象可能与接收机固件升级有着一定的 关系,这对长期时差稳定性的监测带来一定影响.虽 然不同型号设备对时差稳定性影响较小,但因不同型 号设备时延的差异导致求解的系统间时差值有着较 大偏差,由图 2(d)、图 4(d)可知,伪距法的时差结果 相差近 40 ns;由图 3(d)、图 5(d)可知,相位法的时差 结果相差近百纳秒.

| 表 1 测站信息表 |      |                |                          |               |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------|------|----------------|--------------------------|---------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 参数        | 测站名  | 接收机型号          | 时钟类型                     | 天线型号          |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 型号相同      | METG | SEPT POLARX5   | INTERNAL                 | TRM59800.00   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|           | NKLG | SEPT POLARX5   | INTERNAL                 | TRM59800.00   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|           | PTGG | SEPT POLARX5   | INTERNAL                 | TRM59800.00   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|           | SEYG | SEPT POLARX5   | INTERNAL                 | TRM59800.00   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 接收机不同     | NKLG | SEPT POLARX5   | INTERNAL                 | TRM59800.00   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|           | PTGG | SEPT POLARX5   | INTERNAL                 | TRM59800.00   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|           | ASCG | TRIMBLE ALLOY  | INTERNAL                 | TRM59800.00   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|           | CHPG | TRIMBLE ALLOY  | INTERNAL                 | TRM59800.00   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|           | ARUC | SEPT POLARX5   | INTERNAL                 | ASH701945C_M  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|           | FAIR | SEPT POLARX5   | INTERNAL                 | ASH701945G_M  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 天线不同      | DGAR | SEPT POLARX5   | INTERNAL                 | ASH701945E_M  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|           | MDO1 | SEPT POLARX5   | INTERNAL                 | JAVRINGANT_DM |  |  |  |  |  |  |  |  |
|           | PTGG | SEPT POLARX5   | INTERNAL                 | TRM59800.00   |  |  |  |  |  |  |  |  |
|           | GAMG | SEPT POLARX5TR | INTERNAL                 | LEIAR25.R4    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 时钟不同      | MGUE | SEPT POLARX5TR | EXTERNAL H-MASER         | LEIAR25.R4    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|           | YEL2 | SEPT POLARX5TR | EXTERNAL VCH-1 008 MASER | LEIAR25.R4    |  |  |  |  |  |  |  |  |



图 2 基于伪距法解算的第 183 天时差结果



图 4 基于伪距法解算的 30 天时差结果



图 5 基于相位法解算的 30 天时差结果

#### 2.2 不同观测量对时差稳定性影响分析

为研究伪距和相位观测值解算的钟差结果对时 差稳定性的影响,对所选测站分别使用伪距法和相位 法进行单天和多天两种情况下系统时差稳定性分析, 由图 2~5 可知,使用载波相位观测量所解算的时差结 果稳定性优于使用伪距测量得到的时差结果.单天时 差监测结果中,使用伪距观测量解算的时差结果呈现 较大噪声的波动,波动幅度可达 25 ns,而使用载波相 位观测量得到的结果中,时差值在图中近似一条直 线,波动较小.多天监测结果有着同样的结论,采用载 波相位观测量解算的时差结果在 30 天内的稳定性明



显优于采用伪距测量得到的时差结果.其原因是在 GNSS 信号观测中,伪距测量因码元宽度较大测量精 度不高所致,而载波相位观测量精度通常是伪距的 100 倍.

为进一步分析不同观测量对时差结果的影响,对 第 183 天各测站时差结果采用修正阿伦方差计算频 率稳定度,并对其进行分析.图 6 为伪距法得到的修 正阿伦方差结果,图 7 为相位法得到的修正阿伦方差 结果.由图 6~7 可知,伪距法得到的时差结果万秒频 率稳定度在 10<sup>-12</sup>~10<sup>-13</sup> 量级,而采用相位法得到的时 差结果万秒频率稳定度在 10<sup>-14</sup> 量级.







图 7 相位法第 183 天修正阿伦方差结果

#### 2.3 不同时间长度时差稳定性影响分析

为研究不同时间长度的时差结果的稳定性,将单 天结果和 30 天结果进行对比分析.从表 2~3 的时差 标准差可得,采用相位法解算的单天时差标准差为亚 纳秒级,30 天时差标准差约在 5 ns;伪距法得到的单 天和 30 天时差标准差相差不大,约在 5~10 ns.结合 图 5 可知,天与天之间相连的地方存在不同大小的时 差值波动.这种波动是由于采用事后单天独立解算策 略而非实时连续多天解算使得相邻两天的整周模糊 度求解值存在差异导致的,通过对时差结果进行归算 处理后,其 30 天时差值变化曲线与单天相似,近似一 条直线,同时归算后时差标准差与单天时差标准差接近,为亚纳秒级.

图 8~9 分别为伪距法和相位法得到的多天时差结 果进行相邻两天的时差一阶差分的结果,图 10 是归算 后相位法相邻两天的时差一阶差分结果,图 11~12 分 别为伪距法和相位法单天时差结果进行相邻历元一阶 差分结果.从图可以得出,伪距法得到的差分结果中, 单天与 30 天的差分波动范围相近,在±4 ns 内波动.相 位法未进行归算处理的差值结果较为离散,但经归算 后得到的结果与单天一致,都在零值附近.

| 各测站各天时差结果标准差统计 |
|----------------|
| 表 2            |

| YEL2   | ppp Spp     | 0.21 4.29 | 0.68 4.58 | 0.49 5.24 | 0.62 5.57 | 1.20 4.73 | 0.85 4.45 | 0.35 4.28 | 0.40 4.47 | 1.30 5.34 | 0.51 5.67 | 0.44 4.69 | 1.29 4.45 | 0.18 4.27 | 0.42 4.51 | 0.58 5.30 | 0.92 5.41 | 0.33 4.76 | 0.47 4.42 | 0.85 4.14 | 0.49 4.83 | 0.48 5.02 | 1.37 4.61 | 0.29 4.50 | 0.46 8.75 | 0.39 5.18 | 0.46 4.80 | 1.18 5.89 | 0.42 4.64 | 0.22 4.38 | 2.26 5.73 |
|--------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| SEYG   | pp Spp      | .21 3.34  | .25 3.39  | .59 3.41  | .19 3.66  | .19 3.69  | .13 3.75  | .23 3.36  | .18 3.40  | .19 3.34  | 21 3.71   | .22 3.71  | .17 3.59  | .33 3.89  | .17 3.70  | .15 4.13  | .26 3.98  | .47 3.73  | .16 3.61  | .23 3.48  | .19 3.56  | .10 3.38  | .61 3.75  | .35 3.80  | .52 9.77  | .16 3.53  | .16 3.92  | .22 4.20  | .26 4.19  | .20 3.81  | .22 5.19  |
| <br>   | PP F        | 98 0      | .31 0     | .44 0     | .68 0     | .25 0     | .52 0     | .82 0     | .13 0     | .46 0     | .45 0     | .26 0     | .38 0     | .32 0     | .14 0     | .83 0     | .45 0     | .07 0     | .41 0     | .14 0     | .12 0     | .46 0     | .15 0     | .14 0     | .64 0     | .16 0     | .72 0     | .93 0     | .71 0     | .62 0     | .50 0     |
| PTGC   | PP S        | .39 3     | .31 3     | 0.16 3    | 0.18 3    | .21 3     | .31 3     | .36 3     | .27 3     | .48 3     | 0.16 3    | .21 3     | .25 3     | .51 4     | .31 3     | 0.20 3    | .15 3     | .75 3     | .29 3     | .37 4     | 0.28 3    | 0.17 3    | 0.20 3    | .68 4     | .27 41    | .59 3     | 0.18 3    | 0.07 3    | 0.24 2    | .49 3     | 0.10 3    |
| ا<br>ي | SPP I       | 4.82 (    | 4.10 (    | 5.34 (    | 4.90 (    | 4.67 (    | 4.80 (    | 4.69 (    | 3.98 (    | 5.27 (    | 4.83 (    | 4.54 (    | 4.85 (    | 4.60 (    | 4.27 (    | 5.97 (    | 4.91 (    | 4.42 (    | 4.85 (    | 4.42 (    | 4.12 (    | 5.33 (    | 4.31 (    | 4.94 (    | 9.20 3    | 4.35 (    | 5.33 (    | 4.91 (    | 4.17 (    | 4.91 (    | 5.50 (    |
| NKI    | ddd         | 0.18      | 0.42      | 0.34      | 0.25      | 0.26      | 0.18      | 0.17      | 0.34      | 0.38      | 0.31      | 0.27      | 0.19      | 0.18      | 0.32      | 0.35      | 0.25      | 0.36      | 0.23      | 0.19      | 0.33      | 0.34      | 0.31      | 0.27      | 0.27      | 0.34      | 0.33      | 0.27      | 0.28      | 0.29      | 0.29      |
| IGUE   | SPP         | 5.71      | 4.19      | 4.70      | 5.66      | 5.98      | 5.21      | 5.86      | 4.16      | 4.63      | 5.63      | 6.14      | 5.14      | 5.72      | 4.06      | 4.62      | 5.67      | 6.27      | 4.90      | 5.71      | 3.94      | 4.70      | 6.36      | 4.84      | 11 176.48 | 3.94      | 4.65      | 5.53      | 6.34      | 4.86      | 5.52      |
| 2      | ddd         | 0.50      | 0.23      | 0.32      | 0.45      | 0.45      | 0.41      | 0.38      | 0.23      | 0.36      | 0.44      | 0.53      | 0.35      | 0.29      | 0.23      | 0.37      | 0.48      | 0.48      | 0.41      | 0.25      | 0.24      | 0.36      | 0.56      | 0.39      | 0.48      | 0.25      | 0.37      | 0.50      | 0.59      | 0.41      | 0.52      |
| STG    | SPP         | 3.49      | 3.77      | 4.90      | 5.65      | 5.12      | 4.51      | 4.20      | 3.68      | 4.99      | 5.63      | 4.96      | 4.58      | 4.22      | 3.64      | 5.32      | 5.41      | 4.84      | 4.66      | 4.60      | 3.70      | 4.95      | 4.78      | 4.66      | 10.95     | 3.91      | 5.08      | 5.61      | 5.08      | 4.64      | 5.97      |
| ME     | ddd         | 0.35      | 0.35      | 0.37      | 0.52      | 0.40      | 0.39      | 0.35      | 0.33      | 0.40      | 0.54      | 0.47      | 0.45      | 0.36      | 0.35      | 0.40      | 0.43      | 0.47      | 0.43      | 0.38      | 0.40      | 0.42      | 0.40      | 0.77      | 0.69      | 0.38      | 0.43      | 0.46      | 0.48      | 0.54      | 0.45      |
| 01     | SPP         | 5.06      | 5.06      | 5.56      | 5.57      | 6.57      | 5.89      | 5.19      | 4.79      | 6.02      | 5.37      | 6.49      | 5.92      | 5.31      | 4.91      | 5.67      | 5.46      | 6.53      | 6.60      | 5.51      | 4.90      | 5.48      | 7.38      | 6.61      | 33.23     | 5.14      | 5.80      | 5.52      | 6.32      | 6.05      | 5.47      |
| ML     | ddd         | 0.31      | 0.52      | 0.59      | 0.56      | 0.33      | 0.18      | 0.34      | 0.46      | 0.55      | 0.54      | 0.35      | 0.12      | 0.29      | 0.48      | 0.53      | 0.53      | 0.38      | 0.11      | 0.30      | 0.53      | 0.56      | 0.38      | 0.15      | 0.34      | 0.52      | 0.59      | 0.55      | 0.45      | 0.15      | 0.52      |
| AMG    | SPP         | 4.27      | 3.15      | 3.92      | 3.33      | 3.17      | 3.74      | 4.22      | 3.07      | 3.95      | 3.30      | 3.35      | 3.77      | 4.87      | 3.21      | 4.59      | 3.35      | 3.45      | 3.76      | 4.26      | 3.19      | 4.06      | 3.47      | 3.78      | 90 064.09 | 3.23      | 4.36      | 3.67      | 3.49      | 3.79      | 3.67      |
| 0      | ddd         | 0.50      | 0.31      | 0.24      | 0.23      | 0.37      | 0.46      | 0.48      | 0.36      | 0.25      | 0.26      | 0.42      | 0.44      | 0.63      | 0.36      | 0.24      | 0.32      | 0.72      | 0.46      | 0.50      | 0.37      | 0.27      | 0.32      | 0.69      | 1.51      | 0.41      | 0.28      | 0.25      | 0.38      | 0.47      | 0.27      |
| R      | SPP         | 6.11      | 5.29      | 5.17      | 6.48      | 6.62      | 5.81      | 5.77      | 5.42      | 5.29      | 6.34      | 6.45      | 5.99      | 5.78      | 5.37      | 5.33      | 6.28      | 6.53      | 6.04      | 5.80      | 5.53      | 5.49      | 6.54      | 5.79      | 18.89     | 5.82      | 5.37      | 5.93      | 6.49      | 5.78      | 5.92      |
| FA     | ddd         | 0.31      | 0.39      | 0.51      | 1.63      | 0.54      | 0.36      | 0.28      | 0.37      | 0.52      | 0.56      | 0.51      | 0.41      | 0.33      | 0.40      | 0.50      | 0.54      | 0.58      | 1.61      | 0.33      | 0.43      | 0.49      | 0.52      | 0.57      | 0.45      | 0.40      | 0.46      | 0.57      | 0.62      | 0.48      | 0.50      |
| AR     | SPP         | 2.47      | 3.11      | 2.90      | 3.10      | 3.43      | 3.62      | 2.43      | 3.12      | 2.94      | 3.06      | 3.08      | 3.57      | 2.36      | 3.35      | 4.03      | 3.19      | 3.18      | 3.63      | 2.28      | 3.18      | 2.86      | 3.18      | 3.68      | 13.17     | 3.19      | 3.12      | 3.16      | 3.38      | 3.60      | 4.23      |
| DG     | ddd         | 0.27      | 0.14      | 0.13      | 0.19      | 0.15      | 0.19      | 0.26      | 0.25      | 0.12      | 0.19      | 0.16      | 0.16      | 0.39      | 2.79      | 0.14      | 0.30      | 0.40      | 0.20      | 0.25      | 1.66      | 1.26      | 0.20      | 0.32      | 1.11      | 0.15      | 0.16      | 0.21      | 0.22      | 0.20      | 0.18      |
| PG     | SPP         | 5.84      | 4.21      | 6.41      | 5.78      | 4.42      | 6.98      | 5.89      | 4.26      | 6.30      | 5.67      | 4.29      | 7.12      | 5.91      | 4.47      | 6.47      | 5.64      | 4.25      | 7.24      | 6.13      | 4.41      | 6.50      | 4.30      | 7.17      | 11.07     | 4.41      | 6.55      | 5.61      | 4.32      | 7.17      | 5.67      |
| CH     | ddd         | 0.38      | 0.22      | 0.35      | 0.51      | 0.36      | 0.27      | 0.38      | 0.24      | 0.49      | 0.47      | 0.39      | 0.28      | 0.29      | 0.26      | 0.48      | 0.50      | 0.37      | 0.25      | 0.19      | 0.27      | 0.37      | 0.44      | 0.24      | 0.38      | 0.51      | 0.34      | 0.57      | 0.43      | 0.71      | 0.52      |
| ASCG   | SPP         | 4.22      | 5.53      | 5.25      | 5.91      | 5.23      | 6.00      | 4.10      | 5.47      | 5.22      | 5.90      | 5.20      | 5.98      | 4.46      | 5.49      | 5.20      | 6.09      | 5.07      | 6.11      | 4.62      | 5.65      | 5.10      | 4.76      | 6.02      | 21 119.66 | 5.71      | 5.09      | 6.28      | 4.62      | 5.87      | 6.02      |
|        | ddd         | 0.31      | 0.24      | 0.48      | 0.48      | 0.45      | 0.32      | 0.32      | 0.19      | 0.42      | 0.50      | 0.26      | 0.24      | 0.32      | 0.20      | 0.44      | 0.43      | 0.34      | 0.25      | 0.31      | 0.23      | 0.44      | 0.30      | 0.24      | 0.34      | 0.24      | 0.44      | 0.47      | 0.27      | 0.26      | 0.43      |
| nc     | SPP         | 4.45      | 3.98      | 5.43      | 5.65      | 4.96      | 5.27      | 4.68      | 3.93      | 5.35      | 5.63      | 4.79      | 5.16      | 4.48      | 3.89      | 5.62      | 5.37      | 4.71      | 5.21      | 4.33      | 3.81      | 5.38      | 4.61      | 5.17      | 71.90     | 3.79      | 5.80      | 5.63      | 5.56      | 5.50      | 5.62      |
| AR     | ddd         | 0.30      | 0.40      | 0.46      | 0.52      | 0.38      | 0.44      | 0.31      | 0.42      | 0.51      | 0.40      | 0.45      | 0.35      | 0.35      | 0.36      | 0.55      | 0.54      | 0.57      | 0.31      | 0.26      | 0.35      | 0.46      | 0.44      | 0.80      | 0.68      | 0.44      | 0.53      | 0.56      | 0.52      | 0.50      | 0.61      |
| 测站     | 解<br>方<br>法 | 1         | 7         | б         | 4         | 5         | 9         | 7         | 8         | 6         | 10        | 11        | 12        | 13        | 14        | 15        | 16        | 17        | 18        | 19        | 20        | 21        | 22        | 23        | 24        | 25        | 26        | 27        | 28        | 29        | 30        |

表 3 各测站 30 天时差结果标准差统计

| 测站           | ARUC   | ASCG      | CHPG  | DGAR  | FAIR  | GAMG       | MDO1  | METG  | MGUE      | NKLG  | PTGG  | SEYG  | YEL2  |
|--------------|--------|-----------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 30天相位法标准差    | 4.778  | 4.748     | 4.611 | 4.673 | 4.800 | 4.694      | 5.111 | 4.324 | 4.649     | 4.688 | 4.610 | 4.752 | 4.755 |
| 归算后30天相位法标准差 | 0.478  | 0.554     | 0.586 | 0.704 | 0.628 | 0.490      | 0.440 | 0.453 | 0.412     | 0.299 | 0.689 | 0.284 | 0.809 |
| 30天伪距法标准差    | 14.098 | 3 856.034 | 6.145 | 4.485 | 6.898 | 16 440.680 | 8.516 | 5.256 | 2 040.568 | 5.199 | 8.461 | 4.680 | 5.284 |













# **3** 结束语

本文使用 IGS 提供的多测站多天的数据和产品,分别采用伪距法和相位法两种方法解算钟差结 果,再通过单站空间信号法得到 GPS/BDS-3 系统间 时差.分别从不同设备型号、不同观测量、不同时间 长度三个方面对时差稳定性进行了分析,得到如下结论:

1)不同测站在接收机、天线、钟三种设备有所差 异的情况下 GPS/BDS-3 时差稳定性相当,即不同设 备型号对其稳定性影响较小.但不同设备型号时延的 差异会造成时差值的不同.

2) 通过比较伪距法和相位法对时差稳定性的影响, 结果表明, 采用载波相位观测量解算的时差结果 稳定性优于伪距测量方法, 伪距法得到的时差结果万 秒频率稳定度在 10<sup>-12</sup>~10<sup>-13</sup>, 相位法得到的时差结果 万秒频率稳定度约在 10<sup>-14</sup>.

3) 对比单天与 30 天时差解算结果,结果表明, 除相位法因数据处理策略导致的天与天之间的跳跃 外,不同时间长度监测的时差稳定性基本相同,伪距 法约为 5~10 ns,相位法为亚纳秒级.

本文研究的 GPS 和 BDS-3 系统间时差的稳定性,不仅为 GNSS 时间兼容互操作提供了技术支撑,同时为下一步的时差建模预报以及应用奠定了基础.

**致谢:**本文的研究得到了国家自然科学基金项目(41674034, 41974032)的支持.

## 参考文献

- [1] 袁海波,张继海,广伟.不同GNSS时差监测方法研究[C]//第九届中国卫星导航学术年会,2018.
- [2] 朱琳,张慧君,李孝辉,等.全球卫星导航系统时差监测与

修正方法研究[C]//第四届中国卫星导航学术年会, 2013.

- [3] 尹海博, 迅郭杭, 罗孝文. BDS/GNSS融合精密单点定位性 能分析[J]. 全球定位系统, 2021, 46(3): 66-71.
- [4] 陈俊平,吴斌,胡小工,等. GPS/GLONSS时差监测及其在 多模定位中的应用[C]//第三届中国卫星导航学术年会, 2012.
- [5] 于碧云. Galileo系统时差监测方法研究与实现[D]. 西安: 中国科学大学, 2016.
- [6] 章洁君,陈俊平,张益泽. GNSS空间信号法时差监测方法 与结果分析[J]. 测绘通报, 2017(1): 26-29,92.
- [7] PÍRIZ R, GARCÍA Á M, TOBÍAS G, et al. GNSS interoperability: offset between reference time scales and timing biases[J]. Metrologia, 2008, 45(6): S87. DOI: 10.1088/ 0026-1394/45/6/s14
- [8] MOUDRAK A, KONOVALTSEV A, FURTHNER J, et al. Timing aspects of GPS Galileo interoperability: challenges and solutions[C]// The 36th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Systems and Applications Meeting, 2004: 279-292. DOI: 10.1008/0026-1394/45/6/s14
- [9] 张慧君,李孝辉. GNSS系统时差监测与预报研究进展[C]//2013中国天文学会学术年会, 2013.
- [10] 广伟. GNSS时间互操作关键技术研究[D]. 西安: 中国科学院大学(中国科学院国家授时中心), 2019.
- [11] HAHN J H, POWERS E D. Implementation of the GPS to Galileo Time Offset (GGTO)[C]// Proceeding of the 2005 International Frequency Control Symposium and Exposition, 2005. DOI: 10.1109/FREQ.2005.1573899
- [12] HEO Y J, CHO J, HEO M B. Improving prediction accuracy of GPS satellite clocks with periodic variation behaviour[J].

Measurement science and technology, 2010, 21(7): 073001. DOI: 10.1088/0957-0233/21/7/073001

- [13] HUANG G W, ZHANG Q, XU G C. Real-time clock offset prediction with an improved model[J]. GPS solutions, 2014, 18(1): 95-104. DOI: 10.1007/s10291-013-0313-0
- [14] 李红涛. 基于GPS和GLONASS的单站授时和时差监测研 究[D]. 西安: 长安大学, 2012.
- [15] 孙广, 陆华, 沈利荣, 等. 基于不同GNSS系统的单站时差监 测评估[C]//新型导航技术及应用研讨会, 2015.
- [16] 孔思嘉,谢维华. 基于GLONASS频间偏差的GNSS时差监测方法研究[J]. 全球定位系统, 2020, 45(4): 21-28.
- [17] HUANG G W, ZHANG Q, FU W J, et al. GPS/GLONASS time offset monitoring based on combined precise point positioning (PPP) approach[J]. Advances in space research, 2015, 55(12): 2950-2960. DOI: 10.1016/j.asr.2015.03.003
- [18] 杨松. 多模多频GNSS环境下精密单点定位技术研究[D]. 贵阳:贵州大学, 2017.
- [19] 洪菊,涂锐,王星星,等.系统偏差常数弧段估计策略对多 系统静态精密单点定位的影响[J].大地测量与地球动力学, 2019, 39(9): 947-951.

#### 作者简介

刘明玥 (1995—), 女, 硕士, 研究方向为卫星导 航定位方法与技术.

涂锐 (1985—), 男, 博士, 研究员, 研究方向为 GNSS 精密定位、测速、时间传递、灾害监测等.

洪菊 (1994—), 女, 博士, 研究方向 GNSS 精密 单点定位增强技术.

# Stability analysis of GPS / BDS-3 system time offset

LIU Mingyue<sup>1,2</sup>, TU Rui<sup>1,2,3</sup>, HONG Ju<sup>1,2</sup>, MIAO Yage<sup>1,2</sup>, LI Fangxin<sup>1,2</sup>

(1. National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China)

**Abstract:** The stability analysis of time offset between different satellite navigation systems is of great value in modeling prediction and application of time offset. Therefore, based on the data and products provided by the International GNSS Service Center (IGS), the stability analysis of system time offset between the GPS and BeiDou-3 Navigation Satellite System (BDS-3) from three aspects: different stations, different observations, and different time lengths. The results show: due to the different models of receivers, antennas and clocks, the time offset values extracted from different stations are different, but the stability is similar; The stability of the time offset result calculated based on the carrier phase observation is better than that of the pseudo range observation, the time offset result obtained by pseudo range has a frequency stability of the order of  $10^{-12}$  to  $10^{-13}$  in 10 000 seconds, and the time difference obtained by phase has a frequency stability of  $10^{-14}$  seconds. By comparing the time offset calculation results of single-day and multi-day data, it is obtained that the time difference stability of different durations is consistent.

**Keywords:** Global Positioning System (GPS); BeiDou-3 Navigation Satellite System (BDS-3); time offset monitoring; single station space signal method; stability

<sup>3.</sup> Key Laboratory of Precision Navigation and Timing Technology,