



北斗三号系统开通前后广播星历精度对比分析

景鑫, 车通宇, 周舒涵, 李建文

Comparative analysis of broadcast ephemeris accuracy before and after the opening of BDS-3 system

JING Xin, CHE Tongyu, ZHOU Shuhan, and LI Jianwen

引用本文:

景鑫, 车通宇, 周舒涵, 等. 北斗三号系统开通前后广播星历精度对比分析[J]. *全球定位系统*, 2022, 47(4): 23–30. DOI: [10.12265/j.gnss.2022051](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2022051)

JING Xin, CHE Tongyu, ZHOU Shuhan, et al. Comparative analysis of broadcast ephemeris accuracy before and after the opening of BDS-3 system[J]. *Gnss World of China*, 2022, 47(4): 23–30. DOI: [10.12265/j.gnss.2022051](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2022051)

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12265/j.gnss.2022051>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

精密星历与广播星历下C级GPS网解算精度分析

Accuracy analysis of data process of C-Grade GPS network with precise ephemeris and broadcast ephemeris

全球定位系统. 2019, 44(2): 103–109

准天顶卫星系统广播星历精度评定和拟合精度分析

QZSS broadcast ephemeris accuracy evaluation and fitting accuracy analysis

全球定位系统. 2021, 46(5): 39–47

基于BDS广播星历的卫星坐标拟合精度分析

Fitting Accuracy Analysis of Satellite Coordinate Based on BDS Broadcast Ephemeris

全球定位系统. 2018, 43(3): 51–55

IGS精密星历对C级GPS网解算精度影响

Impact of IGS precise ephemeris on the precision of level C GPS network solution

全球定位系统. 2020, 45(4): 29–35

基于BDS广播星历的卫星轨道拟合精度分析

Analysis of Fitting Accuracy of Satellite Orbit Based on BDS Broadcast Ephemeris

全球定位系统. 2018, 43(6): 87–91

基于滑动式傅里叶级数的BDS精密星历内插分析

Interpolation analysis of BDS precision ephemeris based on sliding Fourier series

全球定位系统. 2020, 45(6): 74–79



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.12265/j.gnss.2022051

北斗三号系统开通前后广播星历精度对比分析

景鑫^{1,2}, 车通宇², 周舒涵¹, 李建文¹

(1. 中国人民解放军战略支援部队信息工程大学 地理空间信息学院, 郑州 450001;
2. 西安测绘总站, 西安 710054)

摘要: 北斗三号卫星导航系统 (BDS-3) 开通已一年有余, 通过研究 2019-08—2021-08 共 2 a 的北斗卫星导航系统 (BDS) 广播星历数据, 采用事后精密星历对北斗二号卫星导航系统 (BDS-2) 和 BDS-3 卫星的轨道、钟差和空间信号测距误差 (SISRE) 进行分析. 结果表明: BDS-3 系统开通后, 卫星轨道精度比 BDS-2 提升明显, 径向 (R) 误差均方根 (RMS) 值从 0.87 m 左右提升至优于 0.23 m, 精度提升约 74%, 3D 误差 RMS 值从 1.63 m 以内提升到优于 0.75 m, 精度提升约 54%; 氢原子钟和铷原子钟精度相当, BDS-3 钟差误差 RMS 值精度提升与 BDS-2 提升基本相同, 精度提升约 1 ns; SISRE 精度对比中, BDS-2 SISRE 的 RMS 值从 0.9 m 提升到 0.7 m, BDS-3 从 0.8 m 提升到 0.5 m. 综合比较, BDS-3 系统性能提升较大.

关键词: 北斗卫星导航系统 (BDS); 广播星历; 精密星历; 轨道误差; 钟差; 空间信号测距误差 (SISRE)

中图分类号: P228.4

文献标志码: A

文章编号: 1008-9268(2022)04-0023-08

0 引言

2017 年 11 月 5 日, 北斗三号卫星导航系统 (BDS-3)^[1] 第一颗卫星成功发射; 2018 年 12 月 27 日, BDS-3 基本系统建成; 2020 年 7 月 31 日, BDS-3 开通服务, 我国的北斗卫星导航系统 (BDS) 进入了新的阶段^[2]. 广播星历能够提供卫星轨道和钟差信息, 相较于精密星历有实时性、易获取等优势, 广播星历的精度对定位、导航和授时 (PNT) 的精度影响较大^[3]. 所以, 广播星历对于实时用户来说, 其精度高低直接影响着相关计算结果, 同时, 广播星历的精度也是系统建设者所需关注的问题, 是检验系统能否达到设计指标的依据^[4]. 目前, BDS-3 开通服务已一年有余, 通过研究开通前后广播星历精度的变化, 可以为 BDS 提供运维依据, 为用户数据选择提供参考, 对 BDS 的建设和后续发展有重要意义.

广播星历精度分析一直是卫星导航系统研究的热点内容. 杨建华等^[5] 对 GPS、Galileo、BDS-3 卫星 7 天的广播星历进行了分析对比, 提出提高钟差参数精度是 BDS-3 卫星空间信号精度提升的关键, 但缺乏对北斗系统长期性能的分析; 文献 [6-7] 通过处理一周

的北斗卫星广播星历, 对卫星的轨道精度进行了对比分析, 由于所采用的数据量较少, 对于北斗卫星广播星历的长期变化趋势没有进行讨论; 文献 [8] 主要分析了 2013—2015 年北斗卫星的广播星历, 所分析的卫星主要为北斗二号卫星导航系统 (BDS-2), 没有涉及近些年发展迅速的 BDS-3 卫星, 对于北斗系统近些年的发展状况总结不够; 文献 [2] 对 2019—2020 年 BDS-3 的星历完整性和精度进行了分析, 但是没有对北斗系统开通前后的广播星历数据进行系统的对比.

本文以武汉大学 GNSS 分析中心 (WUM) 提供的精密星历为参考^[8], 采用 2019-08—2021-08 共 2 a 的 BDS 广播星历数据对 BDS-3 系统开通前后 1 a 的广播星历精度变化进行全面对比分析, 为相关领域研究和市场用户应用提供参考.

1 广播星历评估原理与方法

广播星历精度评估需要对广播轨道、广播钟差和空间信号测距误差 (SISRE) 三项内容进行计算评估^[3]. 精密星历是由地面跟踪站的观测数据, 经事后计算处理得到的卫星轨道信息, 其精度一般为厘米级, 而广播星历产品精度一般为米级, 相较于精密星

收稿日期: 2022-03-30

通信作者: 李建文 E-mail: zljw@126.com

历低 1~2 个量级,因此可以将精密星历的轨道和钟差作为评判标准,对广播星历的精度进行评定。

本文通过处理广播星历和精密星历,将其内插为间隔 2 h 的数据,然后计算广播星历和精密星历对应时刻的轨道和钟差误差。

对于卫星轨道误差的分析,通常采用卫星轨道坐标系下径向 (R)、切向 (A) 和法向 (C) 三个方向上的误差表现形式,因此,需要将轨道误差进行坐标系转换,得到卫星轨道坐标系下的 R、A、C 方向的分量误差 δ_R 、 δ_A 、 δ_C ,转换公式如下:

$$\vec{e}_R = \frac{\vec{r}}{|\vec{r}|}, \quad (1)$$

$$\vec{e}_C = \frac{\vec{r} \times \vec{v}}{|\vec{r} \times \vec{v}|}, \quad (2)$$

$$\vec{e}_A = \vec{e}_C \times \vec{e}_R, \quad (3)$$

$$\delta_A = \vec{e}_A \cdot \vec{\Delta}, \quad \delta_C = \vec{e}_C \cdot \vec{\Delta}, \quad \delta_R = \vec{e}_R \cdot \vec{\Delta}. \quad (4)$$

式中: \vec{e}_R 、 \vec{e}_C 、 \vec{e}_A 分别为转换矩阵的三个行向量; \vec{r} 为惯性系下卫星的位置矢量; \vec{v} 为惯性系下卫星的速度矢量; $\vec{\Delta}$ 为惯性系下坐标向量偏差 $\vec{\Delta} = (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ 。

SISRE 反映卫星播发的导航电文偏差对用户测距的影响,是广播星历在用户视线方向上的误差,通过综合轨道和钟差数据进行计算,能够综合体现广播星历的精度^[3],计算公式为

$$V_{\text{SISRE}} = \sqrt{(\alpha \cdot \delta_R - c \cdot T)^2 + (\delta_A^2 + \delta_C^2)} / \beta. \quad (5)$$

式中: V_{SISRE} 为 SISRE 值; δ_R 、 δ_A 、 δ_C 分别为卫星轨道 R、A、C 方向误差; T 为钟差误差; c 为光速; α 为 R 方向误差贡献因子; β 为 A、C 方向误差贡献因子。

由于 BDS 卫星存在三种类型轨道,所以在计算 SISRE 时,需要对不同类型卫星选取不同的 α 、 β 值,如表 1 所示。

表 1 各类型卫星 α 和 β 的取值

卫星类型	贡献因子值	
	α	β
BDS (GEO/IGSO)	0.99	127
BDS (MEO)	0.98	54

然而,在进行对比分析前,由于广播星历和精密星历的时空基准不同,还需要考虑以下关键问题:

1) 参考框架统一。因为北斗广播星历和精密星历各自的参考框架不同,需要对两者进行参考框架的统一。根据 BDS 最新公告,北斗广播星历的卫星位置使

用的是北斗坐标系 (BDCS),而精密星历使用的参考框架为 (ITRF)。两者的差别仅为 1~2 cm^[3],相对于广播星历和精密星历之间的差异来说影响较小,一般可以忽略,因此本文不再进行相关转换。

2) 时间基准统一。由于广播星历和精密星历钟差的时间参考基准不统一,系统存在固有偏差值,且会影响其系统内的所有卫星,并导致钟差整体偏移。为了消除这种偏差,本文通过求二次差的方法,以精密星历钟差作为参考值,与相同历元广播星历卫星的钟差作差,获取当前历元各个卫星的钟差误差,再取其平均值作为此历元的钟差修正。

具体计算公式如下:

$$C_{\text{shift}} = \sum_{j=1}^n (C_{\text{brdc}i} - C_{\text{IGSi}}) / n, \quad (6)$$

$$T_i = (C_{\text{brdc}i} - C_{\text{IGSi}}) - C_{\text{shift}}. \quad (7)$$

式中: C_{shift} 为钟差修正值; $C_{\text{brdc}i}$ 为第 i 颗卫星广播星历的钟差值; C_{IGSi} 为第 i 颗卫星精密星历的钟差值; T_i 为最终钟差误差。

3) 卫星天线相位中心偏差 (PCO) 改正。广播星历提供的卫星位置是天线相位中心,而精密星历提供的卫星位置为卫星质心,因为两者卫星位置的参考中心不同,所以需要对其进行 PCO 改正。本文采用了国际 GNSS 服务 (IGS) 提供的 PCO 数据产品 (igs14_2045) 进行改正。

2 广播星历精度对比分析

北斗广播星历数据来源于 MGEX (Multi-GNSS Experiment) 网站,时间为 2019-08-01—2021-07-31,以武汉大学提供的精密星历和精密钟差数据作为标准,对 BDS 卫星轨道、钟差、SISRE 精度进行计算对比分析。根据文献 [2] 的分析,C19~C30 和 C32~C37 在 2019 年 6 月之后广播星历获取开始稳定,而其他卫星广播星历数据在 2020 年 4 月才开始稳定。因此本文不对 C31 和 C38~C61 卫星的广播星历数据进行对比分析,但是,本文将同时对 BDS-2 的广播星历精度进行对比。

为剔除个别较大偏差值对轨道长时间序列绘图的影响,保证轨道和钟差数据计算的完整性和有效性,本文未使用三倍标准差作为轨道和钟差的阈值,仅对个别较大离群值进行剔除,离群值阈值设定如表 2 所示。通过对去除离群值后的数据进行统计,各卫星数据使用率如表 3 所示。

表 2 各类型卫星离群值阈值设定

卫星类型	离群值阈值	
	轨道误差/m	钟差误差/ns
GEO/IGSO	30	30
MEO	3	30

表 3 各卫星数据使用率

%

PRN	轨道		钟差	
	开通前	开通后	开通前	开通后
C01	99.93	94.03	91.45	93.10
C02	99.98	100.00	90.96	93.76
C03	99.95	100.00	91.20	93.40
C04	99.90	99.60	90.67	93.09
C05	99.93	100.00	90.93	93.17
C06	100.00	100.00	91.17	93.26
C07	100.00	100.00	91.40	93.35
C08	99.98	100.00	90.93	93.03
C09	99.98	100.00	91.17	93.04
C10	100.00	100.00	91.03	93.63
C11	85.99	85.44	90.96	92.91
C12	83.55	86.33	90.53	92.70
C13	100.00	100.00	91.19	93.31
C14	84.25	86.15	90.55	91.60
C16	100.00	100.00	90.83	93.21
C19	99.80	99.87	91.37	93.38
C20	99.75	99.95	90.88	93.35
C21	99.64	100.00	90.46	93.30
C22	99.73	100.00	91.24	93.35
C23	99.83	99.92	91.23	93.38
C24	99.85	100.00	91.10	93.38
C25	99.76	99.92	91.09	93.07
C26	99.69	99.92	90.67	93.35
C27	99.47	100.00	91.68	93.38
C28	99.47	100.00	90.72	93.35
C29	99.81	100.00	91.25	93.35
C30	99.61	99.97	90.96	93.04
C32	99.79	99.92	90.33	92.85
C33	99.97	99.84	91.08	93.04
C34	99.84	99.95	91.26	93.35
C35	99.74	100.00	91.45	93.35
C36	99.84	99.77	89.97	93.07
C37	100.00	100.00	90.30	93.04

由表 3 可知,通过设定离群值阈值,仅剔除了个别历元中偏差较大的数值,数据剔除量小,数据利用率高。

2.1 轨道精度分析

首先,分别选取 BDS-2 的地球同步轨道 (GEO) 卫星 C03、倾斜地球同步轨道 (IGSO) 卫星 C08 和

BDS-3 的中地球轨道 (MEO) 卫星 C20,对轨道数据进行对比分析。

图 1 中 BDS-2 的 GEO 卫星 R 方向精度一般在 2 m,而 A 、 C 方向精度较差, A 方向最大误差甚至达到了 20 m, C 方向波动存在阶段性的系统误差,原因可能与卫星机动有关^[8]。

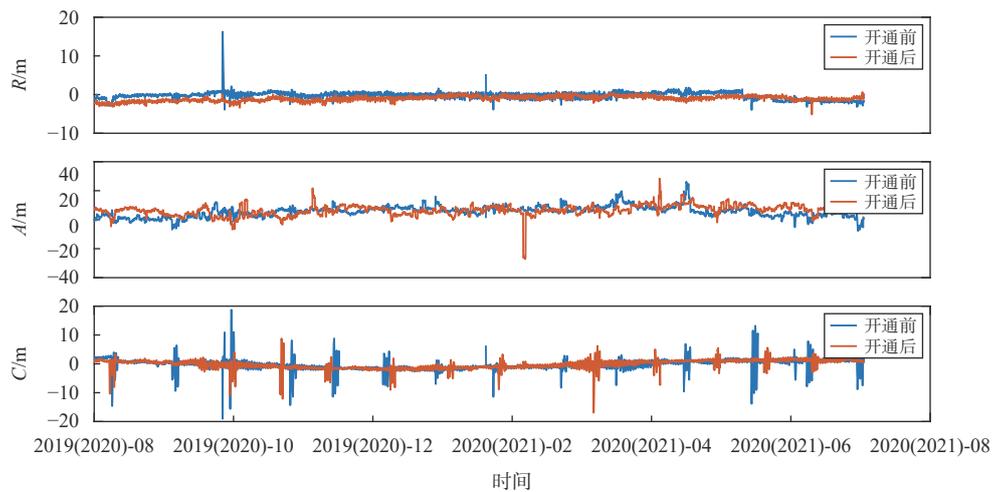


图 1 BDS-2 GEO 卫星 (C03) 轨道误差时间序列图对比

图 2 中 BDS-2 的 IGSO 卫星, R 方向精度约在 2 m, A 方向精度明显优于 GEO 卫星, 精度约在 4 m, C 方向与 GEO 卫星轨道精度相当, 但轨道更加稳定, 不存在系统误差.

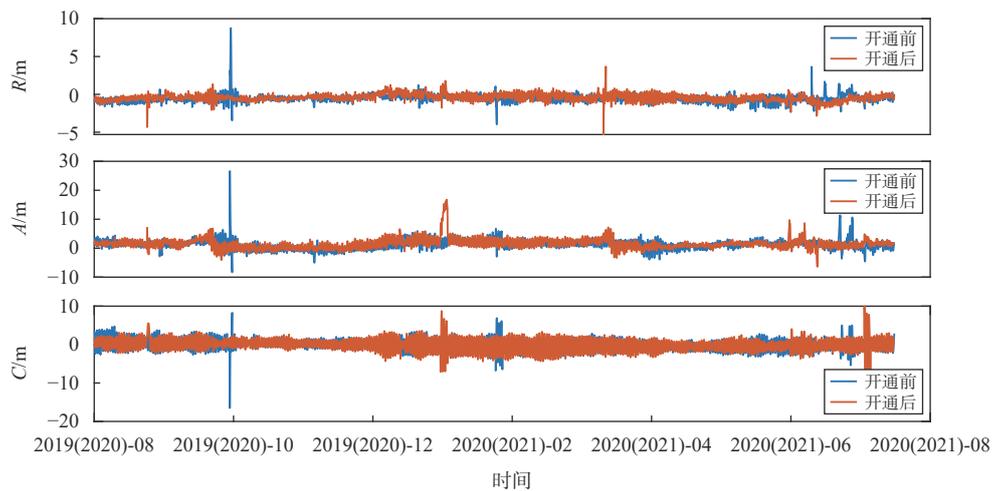


图 2 BDS-2 IGSO 卫星 (C08) 轨道误差时间序列图对比

图 3 为 BDS-3 的 MEO 卫星轨道精度, 其精度最高, 3 个方向轨道精度均优于 GEO 和 IGSO 卫星, 除去个别粗差, 前后 1 a 的轨道精度中 R 方向均约在 0.5 m, A 、 C 方向均约在 1 m.

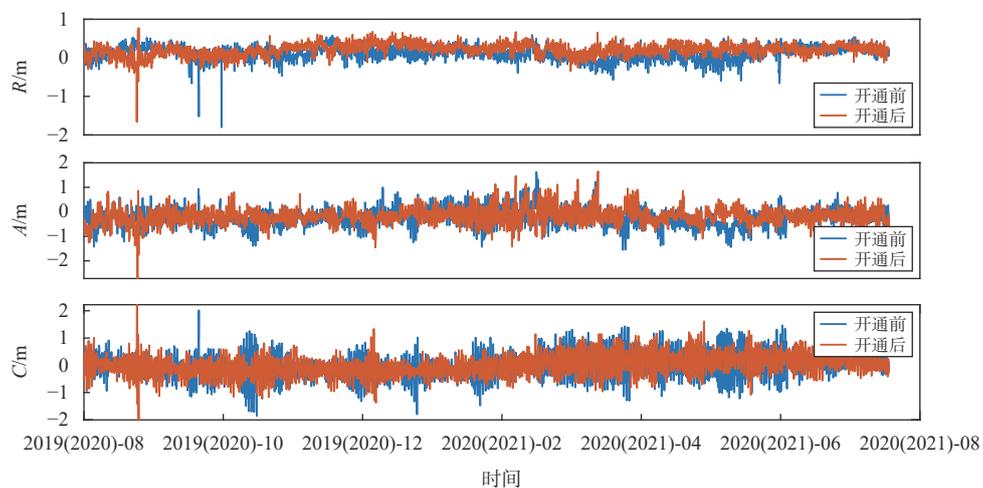


图 3 BDS-3 MEO 卫星 (C20) 轨道误差时间序列图对比

综合图1~3可以看出,3颗卫星的 R 方向精度均优于 A 、 C 方向.开通前后1a 3个方向的轨道精度对比中,BDS-2的GEO和IGSO卫星轨道精度提升不明显,BDS-3的MEO卫星的轨道相较于开通前更加稳定,精度有所提升.而GEO卫星的轨道精度低于IGSO和MEO卫星.主要原因是IGSO和MEO卫星相对于地球而言,几何构型变化较快,而GEO卫星为地球同步轨道卫星,与地面几乎保持静止状态,几何构型较差,不利于定轨解算^[8].

表4统计了2a所有卫星轨道在 R 、 A 、 C 3个方向和3D误差均方根(RMS)值.由表4可知,BDS-3开通前后1a时间中,BDS-2卫星轨道在 R 、 A 、 C 3个方向的精度对比中,精度提升不明显.BDS-3卫星在开通后的轨道精度提升较大,开通前, R 方向误差RMS值基本在0.87m浮动,而开通后,其值优于0.23m,精度提升约74%,3D误差RMS值精度由1.5m左右提升到0.7m左右,提升约53%.

表4 BDS-3开通前后1a BDS卫星轨道误差RMS统计结果

m

PRN	卫星类型	开通前RMS				开通后RMS			
		A	C	R	3D	A	C	R	3D
C01	BDS-2 GEO	6.76	2.01	0.92	7.11	7.13	1.86	1.01	7.44
C02		2.95	2.04	0.72	3.66	2.44	1.80	0.56	3.08
C03		3.59	2.21	1.09	4.35	3.80	1.69	0.65	4.21
C04		4.61	2.28	0.91	5.22	6.74	2.21	0.94	7.15
C05		3.22	2.54	1.11	4.24	4.34	1.92	0.74	4.80
C06	BDS-2 IGSO	1.37	1.32	0.84	2.08	1.76	1.18	0.70	2.23
C07		1.96	1.37	0.85	2.54	1.28	1.28	0.48	1.87
C08		1.77	1.85	0.64	2.64	1.85	1.73	0.50	2.59
C09		1.28	1.40	0.87	2.09	1.46	1.08	0.55	1.90
C10		1.40	1.22	0.73	2.00	1.21	1.16	0.47	1.74
C13		1.48	1.32	0.63	2.08	1.21	1.16	0.52	1.75
C16	1.20	1.26	0.85	1.94	1.24	1.18	0.64	1.83	
C11	BDS-2 MEO	2.51	0.92	0.66	2.75	2.34	0.73	0.62	2.52
C12		3.04	1.15	1.18	3.46	2.60	0.76	0.66	2.79
C14		2.67	1.53	0.71	3.15	2.57	1.04	1.00	2.95
C19	BDS-3 MEO	0.47	0.60	0.35	0.84	0.38	0.41	0.18	0.59
C20		0.99	1.00	0.81	1.62	0.38	0.39	0.21	0.59
C21		0.52	0.73	0.50	1.02	0.34	0.39	0.16	0.54
C22		0.74	0.82	1.34	1.74	0.34	0.39	0.16	0.54
C23		0.63	0.57	0.39	0.93	0.38	0.39	0.17	0.57
C24		0.72	0.60	0.47	1.05	0.36	0.40	0.15	0.56
C25		0.93	0.66	0.71	1.35	0.33	0.36	0.18	0.52
C26		0.71	0.53	0.86	1.23	0.38	0.45	0.19	0.62
C27		0.66	0.66	0.86	1.27	0.31	0.33	0.16	0.48
C28		0.73	0.62	0.48	1.07	0.32	0.36	0.16	0.51
C29		0.55	0.52	0.48	0.90	0.32	0.35	0.16	0.50
C30		0.58	0.78	0.70	1.20	0.32	0.33	0.16	0.49
C32		0.46	0.66	0.46	0.93	0.37	0.39	0.17	0.56
C33		0.37	0.46	0.18	0.61	0.58	0.40	0.22	0.74
C34		0.61	0.68	0.38	0.99	0.33	0.34	0.16	0.50
C35		0.50	0.60	0.48	0.92	0.32	0.35	0.16	0.50
C36		0.55	0.52	0.63	0.98	0.34	0.44	0.15	0.58
C37	0.63	0.58	0.43	0.96	0.36	0.39	0.16	0.55	

在所有卫星中, GEO 卫星的轨道精度最差, 与长时间序列对比结果吻合. 所有类型卫星中, R 方向精度最优, 优于 A 、 C 方向, 在 BDS-3 开通后, BDS-3 的 C19~C30 和 C32~C37 卫星的轨道精度相较于 BDS-2 的 MEO 卫星轨道精度提升更加明显.

2.2 钟差精度分析

图 4~5 分别统计了 BDS-2 的 GEO、IGSO、MEO 卫星和 BDS-3 的 MEO 卫星 2 a 的钟差误差均值和 RMS 值, 然后对开通前后的数值进行了对比.

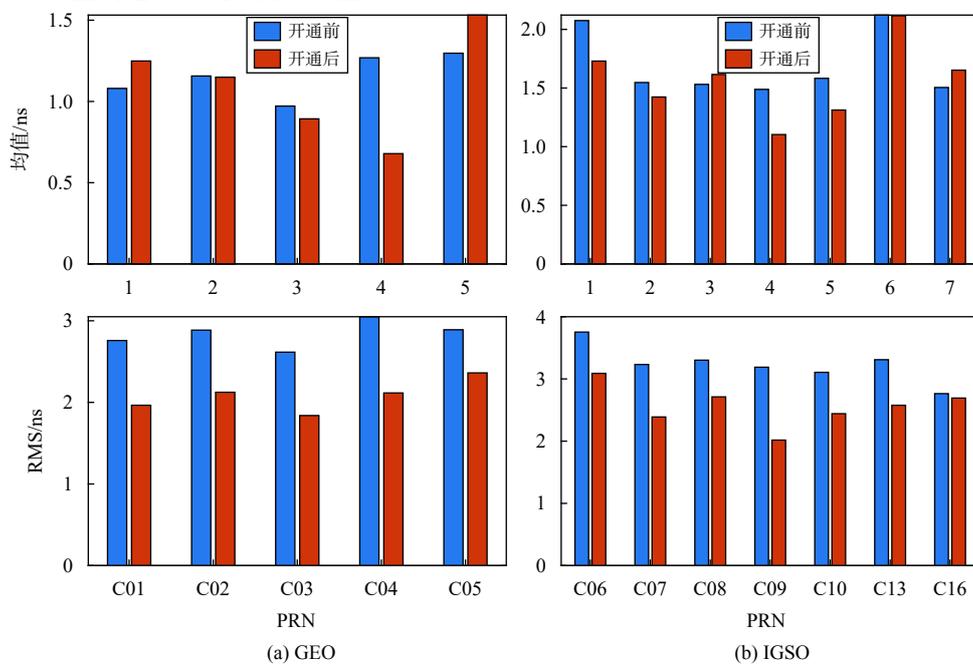


图 4 BDS-2 GEO 和 IGSO 卫星钟差误差

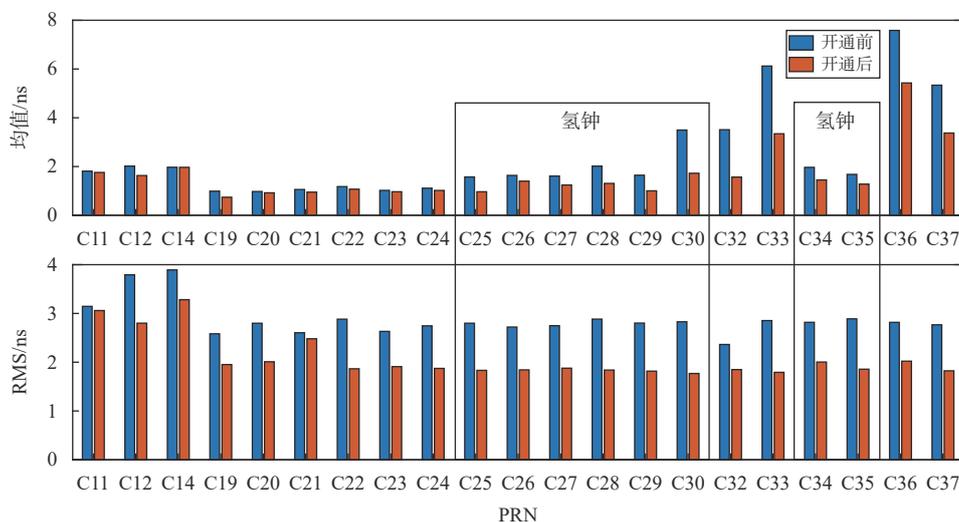


图 5 MEO 卫星钟差均值和 RMS 统计值

北斗卫星搭载的原子钟分为两种, 一种为铷原子钟, 另一种为氢原子钟, 氢原子钟相较于铷原子钟不管在长期或者短期条件下, 稳定度更高、频漂更小. 由图 5 可知, 通过长时间数据统计对比发现, 实际应用中搭载铷原子钟卫星的钟差精度和搭载氢原子钟卫星的钟差精度相当, 差距不大, 这可能是精密产品解算过程中引入的误差对氢钟和铷钟钟差精度影响相同导致.

对比 GEO、IGSO、MEO 三种类型卫星钟差均值和 RMS 值, 在 BDS-3 开通后, 精度都有一定的提升, 开通前 GEO 钟差误差 RMS 值在 3 ns 以内, 开通后精度优于 2.5 ns, IGSO 和 MEO 卫星中除去 C14 卫星, 其他卫星钟差误差 RMS 值由 4 ns 提升到 3 ns 左右.

2.3 SISRE 精度对比分析

SISRE 值能够综合体现广播星历的精度情况, 为进一步综合分析 BDS-3 开通前后的广播星历精度,

研究 SISRE 值在 BDS-3 开通前后的变化情况,图 6~7 分别对 BDS-2 和 BDS-3 的 SISRE 值进行统计计算,分别得到了 BDS-3 开通前后 1 a 的 SISRE 值的均值和 RMS 值。

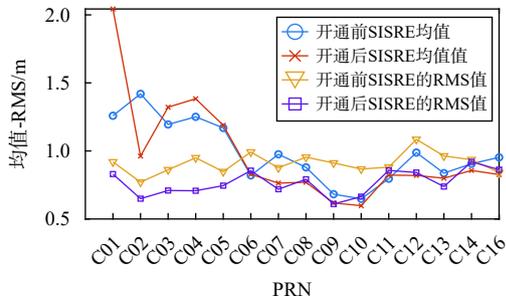


图 6 BDS-2 SISRE RMS 和均值对比

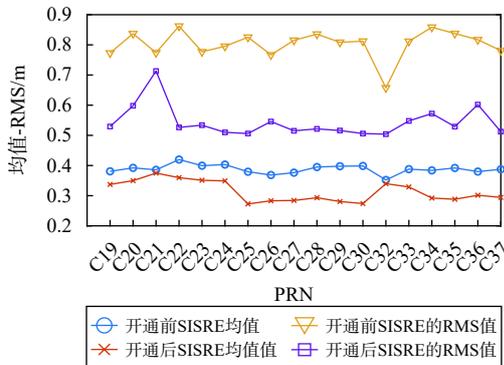


图 7 BDS-3 SISRE 的 RMS 和均值对比

由图 6 可知, BDS-2 卫星的 SISRE 值在开通后精度提升不明显,从 RMS 值看, SISRE 值从 0.9 m 左右提升至约 0.7 m。图 7 为 BDS-3 卫星 SISRE 的统计结果,从 BDS-3 卫星的 SISRE 值的均值和 RMS 值对比中可以看出,相较于 BDS-2 卫星, SISRE 值的精度都有明显的提升,其中均值从 0.4 m 提升至 0.3 m, RMS 值从 0.8 m 提升至 0.5 m。

3 结论

本文通过对 BDS-3 开通前后的 MGEX 广播星历数据进行处理,对比了 BDS-2 和 BDS-3 卫星轨道在 R 、 A 、 C 方向的分量误差、钟差均值和 RMS 值以及 SISRE 精度,并对结果进行了分析,得到如下结论:

1) BDS-3 轨道精度高于 BDS-2 轨道精度,在 BDS-3 开通后,其轨道精度比 BDS-2 提升更加明显,径向误差 RMS 值优于 0.23 m, 3D 误差 RMS 值优于 0.75 m。BDS-3 卫星轨道精度有较大提升可能与开通

后的地面运维和星间链路技术有关^[9]。

2) BDS-3 系统虽然轨道精度较高,但钟差精度与 BDS-2 精度相当,虽然在开通后精度有所提升,但与 GPS 和 Galileo 导航系统^[10]相比还有差距,而钟差误差对 SISRE 贡献较大,提升原子钟精度对 BDS-3 性能提升有较大帮助。

3) 卫星综合性能 SISRE 精度比对中, BDS-3 精度明显高于 BDS-2,其 SISRE 的 RMS 值优于 0.5 m,而 BDS-2 卫星,除 C01 卫星,精度基本约在 0.6~1.2 m。

致谢:感谢 iGMAS 分析中心 (LSN) 提供的数据支持和技术帮助。

参考文献

- [1] 周锋,徐天河. GPS/BDS/Galileo三频精密单点定位模型及性能分析[J]. 测绘学报, 2021, 50(1): 61-70.
- [2] 肖健,史俊波,欧阳晨皓,等. 2019-2020年北斗三号广播星历长期性能分析[C]//第十二届中国卫星导航年会, 2021: 7.
- [3] 王海春,贾小林,李鼎,等. 北斗三号卫星广播星历精度评估分析[J]. 导航定位学报, 2019, 7(4): 60-63,74.
- [4] 路晓峰. 导航卫星钟差评估与预报研究[D]. 西安: 长安大学, 2007.
- [5] 杨建华,唐成盼,宋叶志,等. GNSS导航电文空间信号测距误差分析[J]. 中国科学:物理学、力学、天文学, 2021, 51(1): 68-80.
- [6] MONTENBRUCK O, STEIGENBERGER P, HAUSCHILD A. Broadcast versus precise ephemerides: a multi-GNSS perspective[J]. GPS solutions, 2015, 19(2): 321-333. DOI: 10.1007/s10291-014-0390-8
- [7] 罗璠,李建文,黄海,等. BDS广播星历的轨道误差分析[C]//中国卫星导航学术年会, 2014.
- [8] 曾琪,吴多,刘万科. 基于长期数据的北斗广播星历精度评估[J]. 大地测量与地球动力学, 2016, 36(11): 958-962.
- [9] 冯来平,毛悦,宋小勇,等. 低轨卫星与星间链路增强的北斗卫星联合定轨精度分析[J]. 测绘学报, 2016, 45(z2): 109-115.
- [10] WU W, GUO, F, ZHENG J Z. Analysis of Galileo signal-in-space range error and positioning performance during 2015-2018[J]. Satellite navigation, 2020, 1(1): 6. DOI: 10.1186/s43020-019-0005-1

作者简介

景鑫 (1991—), 硕士, 主要研究方向为导航卫星精密轨道确定技术及 GNSS 数据处理方法。

Comparative analysis of broadcast ephemeris accuracy before and after the opening of BDS-3 system

JING Xin^{1,2}, CHE Tongyu², ZHOU Shuhan¹, LI Jianwen¹

(1. *School of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China;*

2. *Xi'an Division of Surveying and Mapping, Xi'an 710054, China)*

Abstract: BeiDou-3 Navigation Satellite System (BDS-3) has been in operation for more than one year. By studying the BeiDou Navigation Satellite System (BDS) broadcast ephemeris data from August 2019 to August 2021, the orbit, clock error and signal-in-space ranging error (SISRE) of BeiDou Navigation Satellite (regional) System (BDS-2) and BDS-3 satellites are analyzed by using the post precision ephemeris. The results show that after the BDS-3 system is opened, the satellite orbit accuracy is significantly higher than that of BDS-2. The radial error root mean square (RMS) value is improved from about 0.87 m to better than 0.23 m, the accuracy is improved by about 74%, and the 3D error RMS value is improved from less than 1.63 m to better than 0.75 m, the accuracy is improved by about 54%; The accuracy of hydrogen atomic clock and rubidium atomic clock is the same. The accuracy improvement of RMS value of BDS-3 clock error is basically the same as that of BDS-2, with an accuracy improvement of about 1 ns; In SISRE accuracy comparison, the RMS value of BDS-2 SISRE is increased from 0.9 m to 0.7 m, and BDS-3 SISRE is increased from 0.8 m to 0.5 m. through comprehensive comparison, the performance of BDS-3 system is greatly improved

Keywords: BeiDou Navigation Satellite System (BDS); broadcast ephemeris; precision ephemeris; orbit error; clock error; signal-in-space ranging error