



顾及测量方式的地球自转参数差异性分析

陈少杰, 高玉平, 时春霖, 尹东山, 王启虹, 陈永涛

Analysis on the earth rotation parameters under different means

CHEN Shaojie, GAO Yuping, SHI Chunlin, YIN Dongshan, WANG Qihong, and CHEN Yongtao

引用本文:

陈少杰, 高玉平, 时春霖, 等. 顾及测量方式的地球自转参数差异性分析[J]. *全球定位系统*, 2022, 47(2): 133–138. DOI: [10.12265/j.gnss.2021101305](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2021101305)

CHEN Shaojie, GAO Yuping, SHI Chunlin, et al. Analysis on the earth rotation parameters under different means[J]. *Gnss World of China*, 2022, 47(2): 133–138. DOI: [10.12265/j.gnss.2021101305](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2021101305)

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12265/j.gnss.2021101305>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于VLBI与BDS联合解算ERP的算法研究

Algorithm Study on the Earth Rotation Parameters with the Combination of VLBI and BDS

全球定位系统. 2018, 43(3): 26–31,38

地球定向参数测量发展现状和展望

The development and prospects of the earth orientation parameter measurement

全球定位系统. 2021, 46(5): 111–116

基于GPS时间序列分析的地震前后噪声特性差异性研究

Research on the difference of noise characteristics before and after earthquake based on GPS time series analysis

全球定位系统. 2021, 46(2): 56–61, 92

GPS导航电文核心定位参数发展演变分析

Analysis on the development of core positioning parameters of GPS navigation message

全球定位系统. 2021, 46(6): 37–43

基于GAMIT的不同参数对北斗长基线精度的影响分析

Analysis of the Influence of Different Parameters on BeiDou Long Baseline Based on GAMIT

全球定位系统. 2018, 43(5): 23–28

无转换参数下参考框架间Helmert直转模型及精度分析

New method for helmert transformation without direct conversion parameters and precision analysis

全球定位系统. 2021, 46(1): 62–67, 88



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

顾及测量方式的地球自转参数差异性分析

陈少杰^{1,2}, 高玉平^{1,2}, 时春霖³, 尹东山¹, 王启虹³, 陈永涛³

(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. 中国人民解放军 61206 部队, 北京 100042)

摘要: 随着甚长基线干涉测量 (VLBI)、卫星激光测距 (SLR)、激光测月 (LLR)、全球卫星导航系统 (GNSS)、多里斯系统 (DORIS) 等多种空间大地测量手段的使用, 地球自转参数 (ERP) 的测量精度不断提高, 为航天器导航、深空探测等诸多领域提供了高精度的国际天球参考系 (ICRS) 和国际地表参考系统 (ITRS) 之间的转换参数。以国际地球自转与参考系服务发布的 C04 序列为基础序列, 选取 500 天 ERP 序列, 分析不同测量手段得到的 ERP 数据的误差分布情况, 为研究利用不同数据之间的一致性进行精度检核的可行性及精度水平提供数据基础, 同时也为 ERP 预报提供更多的数据选择。

关键词: 地球自转参数 (ERP); 极移; UT1-UTC; 日长变化

中图分类号: P228.5

文献标志码: A

文章编号: 1008-9268(2022)02-0133-06

0 引言

地球自转参数 (ERP) 主要由极移 x_p 、 y_p 和 UT1-UTC 或日长变化 (LOD) 组成, ERP 和岁差章动共同称为地球定向参数 (EOP), 是表示地球自转速率及自转轴空间指向及其变化的参数, 也是地心天球参考系 (GCRS) 到国际地表参考系统 (ITRS) 的重要转换参数, 其精度对深空探测器精密定轨与自主导航、导航卫星精密定轨等领域产生直接影响^[1-3], 也是国际 GNSS 服务 (IGS) 和国际 GNSS 监测评估系统 (iGMAS) 重要数据产品之一^[4]。

自 20 世纪 60 年代以来, 以 GPS、卫星激光测距/激光测月 (SLR/LLR)、甚长基线干涉测量 (VLBI)、多里斯系统 (DORIS) 等现代空间大地测量手段的技术发展^[4], ERP 的测量精度得到了极大地提升。由分布在全球的不同观测手段的各个测站进行定时观测后, 各个分析中心对观测数据进行解算, 之后由 IGS、国际测地/天体测量学 VLBI 服务组织 (IVS)、IDS、国际月球研究站 (ILRS) 联合解算中心对分析中心的结果进行处理^[6-9], 得到不同观测手段的联合解, 并将结果交由国际地球自转和参考系服务 (IERS)。由

IERS 将其计算得到最终解 EOP 序列^[10], 并通过邮件、FTP、WEB 等方式向全球用户发布^[11]。其数据序列精度和可靠性对科学研究和国防建设等关键领域至关重要, 且我国尚没有自主系统的 EOP 服务体系。在 EOP 参数中, 以 VLBI 为代表的现代空间大地测量手段建立的 IAU 2000 岁差章动模型精度基本能够满足实际应用的需求, 而 ERP 参数才是影响用户实际使用的主要因素。通过以 IERS 14 C04 序列为基础序列, 分析不同手段得到的 ERP 数据序列的误差情况, 探讨利用其他观测数据进行 ERP 预报及基于不同数据之间的一致性进行精度检核的可行性及精度水平。

1 ERP 数据序列

ERP 是表述地球参考系相对天球参考系指向的参数, 是自转运动中不规则性元素的集合, 用来表征地球自转轴空间指向、自转速率及其变化。目前, 提供系统的 ERP 服务的国际组织主要有 IERS、IVS、IGS、IDS、ILRS、iGMAS 等。不同数据如下:

1) IERS 发布的 EOP 数据主要由预报值序列 Bulletin A、B、C、D 及最终序列 C04 序列构成。其中, Bulletin A 与 Bulletin B、C、D 为预报值序列。Bulletin

收稿日期: 2021-10-13

资助项目: 国家自然科学基金 (11973046, 41804034)

通信作者: 陈少杰 E-mail: chenshaojie18@mails.ucas.ac.cn

A 由 USNO 负责以每周一次的频率发布, 主要内容为发布前 7 天的极移、UT1-UTC 快速解及相应不确定度和一年的预报值^[12-14]. Bulletin B 由 IERS 中央局负责, 内容为上月 ERP 的最终解及不确定度, 每月发布一次, 数据更新滞后 30 天. Bulletin C 为跳秒预报, 每半年发布一次. Bulletin D 为指定日期内的 DUT1.

IERS EOP C01/02/03/04 为最终序列, 其中 C01/02/03/04 为不同时间区间、分辨率不同的数据序列, 目前已停止更新. 最主要的 C04 序列为 1962 年至今每天 24:00 的 EOP 序列, 更新滞后 30 天. 最终序列精度高, 可以作为科学研究使用, 但是由于其发布时间相对滞后, 无法满足实时性要求较高的天文测量、天文导航的需求^[15].

2) 除 IERS 外, IGS 同样是主要的 ERP 数据来源之一. IGS 的 ERP 主要利用轨道星历计算所得, 根据采用的轨道星历的不同, IGS 发布的 ERP 数据可分为 igu.erp、igr.erp 和 igs.erp 文件^[16-17], 分别对应超快速轨道星历, 快速轨道星历和精密星历.

其中, 由超快速星历得到的 ERP 参数每 6 h 更新一次; 由快速星历解算的 ERP 每天发布一次; 由精密星历计算的 ERP 滞后 11~17 天.

3) IDS、ILRS 和 IVS 也是常用的 ERP 来源^[18-21]. IDS 发布的序列只包含极移参数; ILRS 序列以 SINEX 文件的形式给出, 由六个 ILRS 数据分析中心分别利用过去 7 天的观测数据得到的参数解, ILRS 的联合解中心 (CC) 对分析中心的结果进行处理, 得到联合解. 1997 年 12 月 28 日起, 数据间隔 1 天, 包含极移和 LOD, IVS 的序列主要由位于 BKG/DGFI 的 IVS 联合中心将分析中心解算得到的数据序列及站坐标等数据汇总后形成官方的联合解产品, 不同数据的内容及更新时间如表 1 所示.

表 1 几种 ERP 参数内容及数据发布

类型	极移	UT1-UTC	LOD	更新频率	滞后时间
IGU	√	√	√	6 h	3~9 h
IGR	√	√	√	1天	17~41 h
IGS	√	√	√	7天	11~17天
IDS	√	×	×	1天	-
IVS	√	√	√	每周2次	15天
ILRS	√	×	√	1天	1天

注: √为包含此项, ×表示无此项内容

2 差异性分析

2.1 数据说明

为比较不同观测手段得到的 ERP 参数的精度

差异, 选取 2015-08-01—2016-12-13 (MJD: 57 235~57 735) 共 500 天 ERP 数据为样本进行分析.

由于不同数据序列的历元不同, IGS、ILRS、IDS 序列均为 12 h 的值, IVS 结果并不是某一固定时刻, 且通常每周只有两组观测结果. 因此在处理前先利用三次多项式插值的方式获取同一历元下的 ERP 序列值, 当 IERS 14 C04 序列给出的为 0 时, 将所有序列都归算至当天 0 时.

将归算后的不同的 ERP 序列绘制成图, 以 MJD 为 x 轴, 相应的 ERP 参数为 y 轴. 不同手段的 ERP 参数变化如图 1~3 所示 (PMX 为在 X 方向的极移值, PMY 为在 Y 方向的极移值). 由图可得, 不同手段的 ERP 变化趋势基本相同, 并无显著差异, 且所选区间没有跳秒的出现. 为更直观的比较不同数据的差异性, 以 IERS 14 C04 序列为基础序列进行分析.

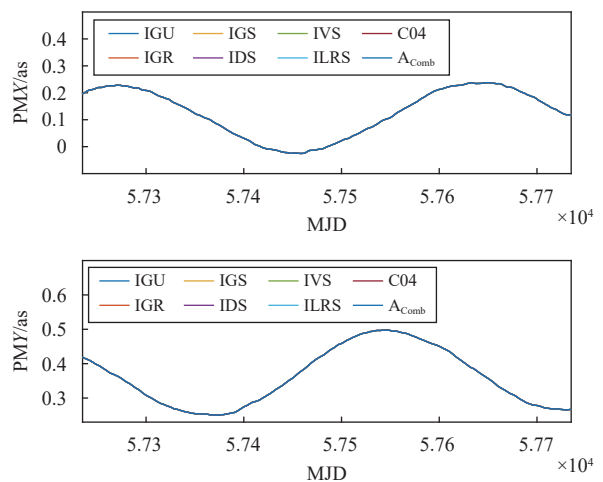


图 1 不同 ERP 数据极移变化情况

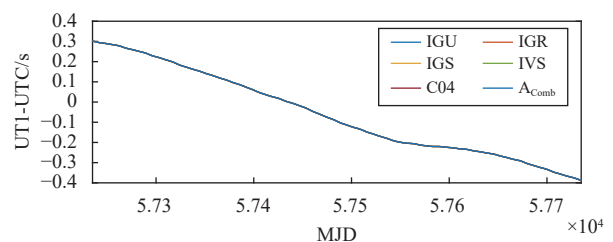


图 2 不同 ERP 数据 UT1-UTC 变化情况

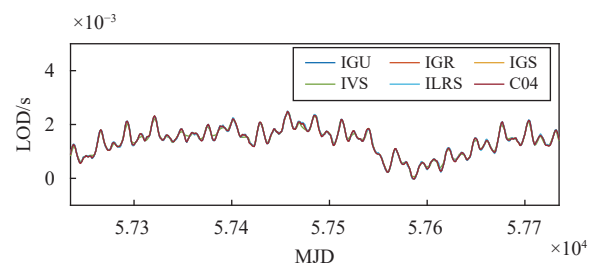


图 3 不同 ERP 数据 LOD 变化情况

2.2 IGS 序列异性分析

将 IERS 14 C04 为基础序列,将不同数据与 IERS 14 C04 的差值绘制成图,图 4~6 为 IGS 三种不同序列与 C04 差值的变化情况.由图可得,使用三种星历文件计算得到的三种 ERP 参数之间的互差处于较小水平,在所选 500 天数据范围内,对极移,IGS 序列与 C04 序列的差值小于 ± 0.4 mas,对于 UT1-UTC,其互差总体分布在 ± 0.05 ms 以内,仅有部分点约达到 ± 0.2 ms, LOD 主要处于 ± 0.02 ms,只有部分点的互差大于 ± 0.02 ms,最大值约 ± 0.05 ms.

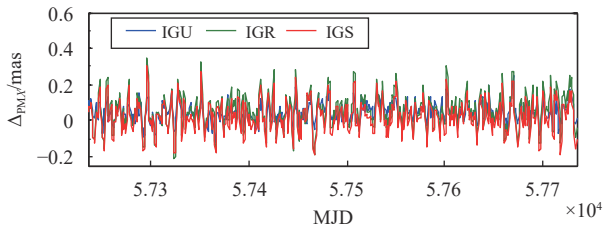


图 4 IGS 不同序列极移误差变化情况

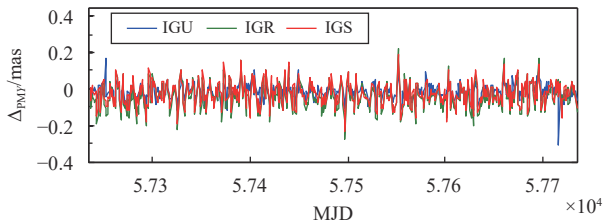


图 5 IGS 不同序列 UT1-UTC 误差变化情况

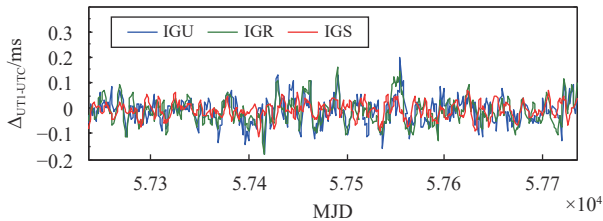


图 6 IGS 不同序列 LOD 误差变化情况

不同量的参数误差统计值如表 2 所示,由表 2 可知,使用三种不同星历计算得到的 ERP 参数与 C04 的最大误差并没有显著的差异,极移两个方向都约为 ± 0.2 mas, UT1-UTC 约为 ± 0.02 ms, LOD 约为 ± 0.03 ms.但是对于平均误差,使用精密星历计算得到的结果明显优于超快速星历和快速星历得到的结果.

表 2 IGS 发布 ERP 参数误差统计

类型	参数	PMX/mas	PMY/mas	UT1-UTC/ms	LOD/ms
IGU	最大值	0.249	0.173	0.197 1	0.042 3
	最小值	-0.125	-0.312	-0.177 7	-0.033 7
	平均值	0.045	-0.014	-0.011 7	1.66×10^{-4}
	标准差	0.056	0.044	0.049 9	0.010 8
IGR	最大值	0.343	0.217	0.159 3	0.027 7
	最小值	-0.209	-0.279	-0.182 2	-0.027 8
	平均值	0.053	-0.041	-0.011 6	-1.81×10^{-5}
	标准差	0.094	0.069	0.050 2	0.009 8
IGS	最大值	0.303	0.193	0.072 3	0.029 5
	最小值	-0.195	-0.234	-0.112 6	-0.028 9
	平均值	0.021	-0.025	-0.007 9	1.98×10^{-4}
	标准差	0.089	0.064	0.031 6	0.010 1

由于 C04 序列的发布有约 30 天的延迟,因此最近 30 天的 IERS 发布的 ERP 的测量值序列无法获取,但是每周 Bulletin A 文件中给出上周观测数据的快速解,因此可以通过分析 Bulletin A 中快速解的误差规律,并将上述时间区间内的 Bulletin A 中快速解与 C04 序列的最终值进行比较,其结果如图 7~8 所示,对于极移,快速解与 C04 的误差大约为 ± 0.2 mas, UT1-UTC 的误差除个别时间的误差超过 0.05 ms 以外都小于 ± 0.05 ms.

不同量的参数误差统计值如表 3 所示,由表 3 可得, Bulletin A 中快速解的 ERP 参数与 C04 序列相比,其极移平均误差只有约 ± 0.03 mas, UT1-UTC 平均误差约为 -0.003 ms.

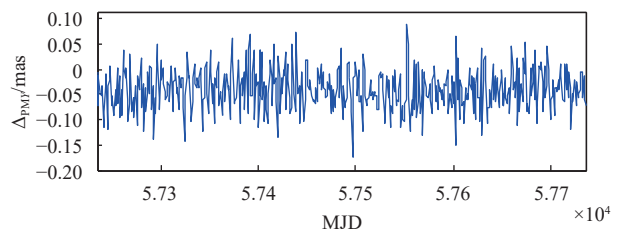
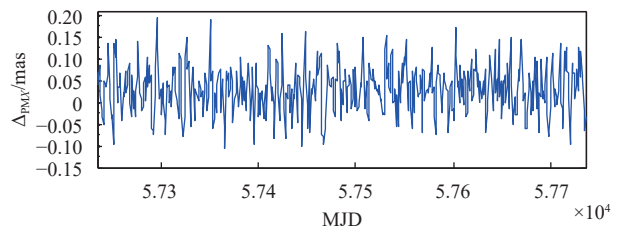


图 7 Bulletin A 快速解极移误差变化情况

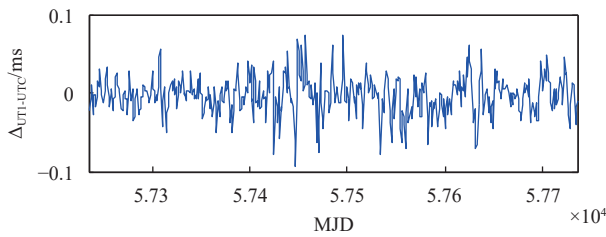


图 8 Bulletin A 快速解 UT1-UTC 误差变化情况

表 3 Bulletin A 快速解 ERP 参数误差统计

参数	PMX/mas	PMY/mas	UT1-UTC/ms
最大值	0.195	0.088	0.073 1
最小值	-0.106	-0.175	-0.093 0
平均值	0.029	-0.041	-0.003 4
标准差	0.054	0.041	0.023 9

除 IERS 和 IGS 以外, IVS、IDS 与 ILRS 同样定期发布 ERP 数据, IVS、IDS、ILRS 发布的 ERP 序列与 C04 序列的差值变化情况如图 9~11. 对于极移, 此三种方式得到的 ERP 参数与 C04 的差异约为 ±0.5 mas, 其中有部分时间点的差值大于 0.05 mas, 最大值 X 方向不大于 ±1.5 mas, Y 方向不大于 ±1 mas; 对于 UT1-UTC, 由于 ILRS 与 IDS 发布的数据中不含 UT1-UTC 的值, 而 IVS 发布的 ERP 参数中, UT1-UTC 与 C04 的差值约为 ±0.1 ms, 只有少数几个点大于 ±0.1 ms, 但不大于 ±0.3 ms; 对于 LOD, IVS 与 ILRS 的 ERP 序列均包含 LOD 参数, 两者与 C04 的差值除同样约为 ±0.1 ms.

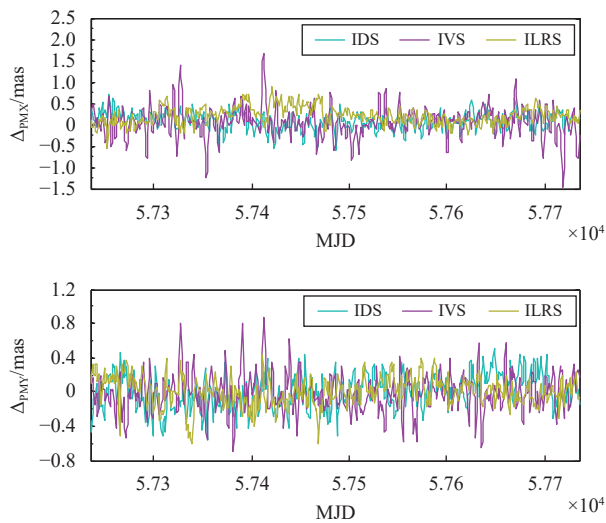


图 9 IVS/ILRS/IDS 极移误差变化情况

不同量的参数误差统计值如表 4. 由表 4 可得, IDS、IVS 极移序列平均误差较 ILRS 大, 但均小于 0.1 mas, IVS 的最大误差较 ILRS、IDS 大 1 倍, 最大值大于 1.5 mas; 对 UT1-UTC, IVS 的平均误差为 4 μs,

最大值约 0.2 ms; 对 LOD, IVS 与 ILRS 约处于同一精度.

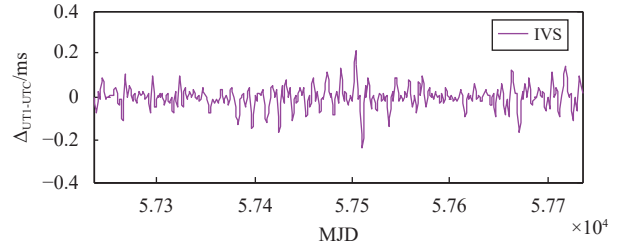


图 10 IVS 序列 UT1-UTC 误差变化情况

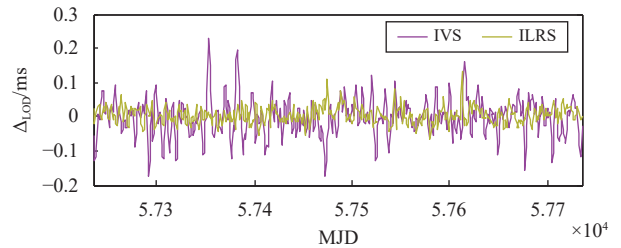


图 11 IVS/ILRS 序列 LOD 误差变化情况

表 4 IVS/ILRS/IDS 发布 ERP 序列误差统计

类型	参数	PMX/mas	PMY/mas	DUT1/ms	LOD/ms
IDS	最大值	0.712	0.496 0	-	-
	最小值	-0.607	-0.559 0	-	-
	平均值	0.078	-0.000 4	-	-
	标准差	0.204	0.201 0	-	-
IVS	最大值	1.666	0.861 0	0.213 0	0.231 6
	最小值	-1.483	-0.702 0	-0.239 2	-0.176 8
	平均值	0.053	-0.014 0	-0.004 0	-0.002 2
	标准差	0.057	0.223 0	0.052 9	0.055 0
ILRS	最大值	0.875	0.449 0	-	0.129 9
	最小值	-0.587	-0.612 0	-	-0.065 7
	平均值	0.205	-0.005 0	-	0.004 1
	标准差	0.205	0.167 0	-	0.024 9

3 结论

通过以 IERS 14C04 序列为基础序列, 分析不同手段得到的 ERP 数据序列的误差情况, 根据上述分析可得以下结论:

1) IGS、ILRS、IVS、IDS 等发布的 ERP 序列与 C04 序列相比并没有显著差异, 对于极移, 其不同数据之间的最大差异小于 2 mas, 其平均误差小于 0.1 mas. 对于 UT1-UTC, 不同数据与 C04 相比起平

均误差约为 ± 0.01 ms.

2) 其中使用精密轨道星历及 VLBI 得到的 UT1-UTC 精度显著优于使用超快速轨道星历及快速轨道星历得到的结果.

3) 鉴于几种不同国际组织的数据之间的一致性,可以通过不同数据之间的一致性实现不同数据之间互相的数据检核,有效避免极移大于 2 mas、UT1-UTC 大于 0.03 ms、LOD 大于 0.3 ms 的数据粗差的影响,可有效保证获取的 ERP 序列的精度.

4) 此外该结果也证明了利用多种不同来源的数据进行 ERP 预报、数据分析的可能性,同时也为高精度用户提供多种不同的数据选择.

参考文献

- [1] 乔书波, 李金岭, 柴洪洲, 等. 天球参考架的稳定源选取及其最新实现[J]. 测绘学报, 2010, 39(2): 120-128.
- [2] 张捍卫, 许厚泽, 王爱生. 天球参考系与地球参考系之间的坐标转换研究进展[J]. 测绘科学, 2005, 30(5): 105-109.
- [3] WEI E H, JIN S G, YANG H Z, et al. Simulation and results on real-time positioning of Chang'E-3 rover with the same-beam VLBI observations[J]. *Planetary and space science*, 2013(84): 20-27. DOI: 10.1016/j.pss.2013.04.005
- [4] 韩恒星, 党亚民, 许长辉, 等. 地球自转参数的LS+AR超短期预报方法[J]. 测绘通报, 2017(7): 1-4.
- [5] 宁津生, 刘经南, 陈俊勇, 等. 现代大地测量理论与技术[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006: 170-171.
- [6] PEARLMAN M R, DEGNAN J J, BOSWORTH J M. The international laser ranging service[J]. *Advances in space research*, 2002, 30 (2): 135-143. DOI: 10.1016/S0273-1177(02)00277-6
- [7] DOW J M, NEILAN R E, RIZOS C. The International GNSS service in a Changing landscape of Global Navigation Satellite Systems[J]. *Journal of geodesy*, 2009, 83 (3): 191-198. DOI: 10.1007/s00190-008-0300-3
- [8] WILLIS P, FAGARD H, FERRAGE P, et al. The international DORIS service (IDS): toward maturity[J]. *Advances in space research*, 2010, 45 (12) :1408-1420. DOI: 10.1016/j.asr.2009.11.018
- [9] SCHUH H, BEHREND D. VLBI: a fascinating technique for geodesy and astrometry[J]. *Journal of geodynamic*, 2012, 61: 68-80. DOI: 10.1016/j.jog.2012.07.007
- [10] BIANCO G, DEVOTI R, LUCERI V, Combination of loosely constrained solutions[J/OL]. [2021-10-10]. IERS technical note, 2003(30): 107-109. https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Devoti/publication/252698425_Combination_of_loosely_constrained_solutions/links/02e7e535f8036d983b000000/Combination-of-loosely-constrained-solutions.pdf
- [11] PETIT G, LUZUM B. IERS conventions (2010): IERS Technical Note 36 [R]. Germany: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie.
- [12] LUZUM B J, JIM R R, CARTER M S, et al. Recent improvements to IERS bulletin a combination and prediction[J]. *GPS solutions*, 2001, 4(3): 34-40. DOI: 10.1007/PL00012853
- [13] MCCARTHY D D, LUZUM B J. Prediction of earth orientation[J]. *Bulletin géodésique*, 1991, 65(1): 18-21. DOI: 10.1007/BF00806338
- [14] Gambis D, Luzum B J. Earth rotation monitoring, UT1 determination and prediction[J]. *Metrologia*, 2011, 48(4): S165-S170. DOI: 10.1088/0026-1394/48/4/S06
- [15] 陈少杰, 高玉平, 时春霖, 等. 顾及A公报影响的天文测量精度分析[J]. 西南交通大学学报, 2021, 56(2): 331-338.
- [16] IGS. IGS Earth Rotation [EB/OL]. [2021-10-10]. <https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/igs00p03.erp.Z>
- [17] IGS. IGS Earth Rotation [EB/OL]. [2021-10-10]. <ftp://lox.ucsd.edu/archive/garner/products/igu00p01.erp.Z>
- [18] BIANCO G, LUCERI V, SCIARRETTAC, The ILRS standard products: a quality assessment[C]// The 15th International Workshop on Laser Ranging, 2006.
- [19] ILRS. ILRS EOP Series[EB/OL]. [2021-10-10]. <ftp://edc.dgfi.tum.de/pub/slir/products/pos+eop/>
- [20] IDS. IDS EOP Series[EB/OL]. [2021-10-10]. <ftp://ids-doris.org/pub/ids/products/eop/ids19wd01.eop.Z>
- [21] IVS. IVS EOP Series[EB/OL]. [2021-10-10]. <ftp://ivs.bkg.bund.de/pub/vlbi/ivsproducts/eops/ivs20r1X.eops.gz>

作者简介

陈少杰 (1991—), 男, 博士, 研究方向为天文测量与导航, 地球自转.

Analysis on the earth rotation parameters under different means

CHEN Shaojie^{1,2}, GAO Yuping^{1,2}, SHI Chunlin³, YIN Dongshan¹, WANG Qihong³, CHEN Yongtao³

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

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

3. *Troop 61206, Beijing 100042, China)*

Abstract: With the use of various space geodetic methods such as very long baseline interferometry (VLBI), satellite laser ranging (SLR), lunar laser ranging (LLR), Global Navigation Satellite System (GNSS), Doppler orbitograph and radio positioning integrated by satellite (DORIS), etc., the measurement accuracy of earth rotation parameters (ERP) has been continuously improved. It provides high-precision conversion parameters between the International Celestial Reference System (ICRS) and the International Terrestrial Reference System (ITRS) for many fields such as spacecraft navigation and deep space exploration. This article mainly uses the C04 sequence published by the International Earth Rotation and Reference System Service as the basic sequence, the 500 days ERP sequence was selected and the error distribution of the ERP data obtained by different measurement methods was analyzed. It provides data basis for studying the feasibility and accuracy level of accuracy checking by using the consistency between different data, and also provides more data options for ERP forecasts.

Keywords: earth rotation parameters (ERP); polar motion; UT1-UTC; length of day (LOD)