

导航卫星天线相位中心变化估计及对 LEO 精密定轨影响

马 洋^{1,2} 欧吉坤¹ 袁运斌¹ 霍星亮¹ 丁文武¹

1 中国科学院测量与地球物理研究所, 大地测量与地球动力学国家重点实验室, 湖北 武汉, 430077

2 中国科学院大学, 北京, 100049

摘要: 精确标定导航卫星发射天线相位中心对于高精度 GNSS(global navigation satellite system) 数据处理十分重要, 对于低轨卫星(low earth orbit, LEO) 精密定轨更是如此。本文以 GPS 为例, 首先探讨了一种基于 LEO 简化动力学精密定轨残差建模的方法, 对导航卫星发射天线相位中心变化(phase center variation, PCV) 进行标定, 与 IGS08_1745. atx(international GNSS service, IGS) 的 PCV 比较结果表明, 本文所得 PCV 在天底角低于 14° 部分与 IGS 的 PCV 差异约 1 mm, 并且有效地将天底角(nadir angle) 拓展至 17°; 最后采用多种方案讨论了导航卫星 PCV 对 JASON-2 精密定轨的影响。结果表明, 导航卫星 PCV 可导致 1~2 cm 的定轨误差。其中利用本文所得 PCV 可实现 3D-RMS 约 3 cm、径向约 1 cm 的定轨精度, 与采用 IGS 的 PCV 定轨精度相当, 本方法可为北斗卫星发射天线相位中心变化的标定提供参考。

关键词: GPS; 低轨卫星; JASON-2; 精密定轨; 天线相位中心变化

中图法分类号: P228

文献标志码: A

GNSS 观测值测量的是导航卫星发射天线相位中心到接收机天线相位中心之间的距离。而实际数据处理中, 描述导航卫星精密位置的参考点是卫星的质心。只有精确确定导航卫星天线相位中心到卫星质心之间的导航卫星天线相位中心改正信息, 才能满足高精度定位和 LEO 精密定轨等领域的需求。

从 2006 年 12 月开始, 绝对相位中心改正已取代相对相位中心改正^[1-2]。对于导航卫星端, 由于卫星天线受各种复杂太空环境的影响, 其特性会发生较大变化, 在发射前测定的天线 PCV 结果无法满足高精度定轨定位的需求, 于是德国地球科学研究中心(Geoforschungszentrum, GFZ) 和德国慕尼黑工业大学(Technische Universität München, TUM) 等 IGS 机构的很多专家基于地面数据对导航卫星 PCV 的在轨测定展开了研究^[1-3], 但是天底角只局限在 0~14° 的范围。这对分析较高轨道的 LEO 的星载 GPS 数据是不够的, 比如 JASON-2 卫星数据对应的最大天底角达到 17°, 要进一步提升 LEO 精密定轨的精度, 就需要对其做更细致的考虑。

轨道高度约 300~1 300 km 的高精度 LEO 平台为导航卫星天底角 15°~17° 部分的 PCV 标定提供了重要的数据来源。伯尔尼大学天文研究所(Astronomical Institute of the University of Bern, AIUB) 和欧空局航天操作中心(European Space Operations Centre, ESOC) 均利用 LEO 卫星的星载数据, 采用直接法同时估计 LEO 和 GPS 卫星的 PCV^[4-5]。IGS 参考了这两个机构解算的结果, 在 igs08_1745. atx^[6] 中更新了 GPS 导航卫星的天底角 15°~17° 部分的 PCV。

Haine 等于 2004 年基于 LEO 数据的残差初步建立了导航卫星随天底角和方位角的天线变化图^[7], 本文借鉴了这个思路, 采用 JASON-2 数据, 建立了天底角 0~17° 的导航卫星发射天线的相位中心变化模型。

关于 GLONASS 卫星发射天线的 PCV 建模, AIUB 和 ESOC 的专家基于地面观测数据展开了相关研究^[8-9]。随着我国北斗卫星系统的不断建设, 2012 年年底已经实现了亚太地区的覆盖, 在不久的将来, 将会有更多的低轨卫星搭载星载 GNSS 接收机实现精密定轨, 所以需要开展此

方面的研究,为北斗导航卫星天线相位中心变化在轨标定提供参考。

另外,国内很多学者探讨了 GPS 导航卫星天线相位中心模型对定位方面的影响^[10-11],但鲜有学者展开其对 LEO 精密定轨的影响研究。

鉴于此,本文以 GPS 系统为例,首先基于 JASON-2 卫星星载 GPS 精密定轨消电离层组合残差数据,探讨和建立了 GPS 导航卫星发射天线相位中心变化模型,然后通过与 IGS 的 PCV 比较和 JASON-2 精密定轨进行了验证,最后探讨了 GPS 的 PCV 对 JASON-2 精密定轨的影响。

1 数学模型

本文基于 LEO 平台的星载 GPS 数据标定导航卫星的 PCV,图 1 为解算原理关系示意图^[12]。

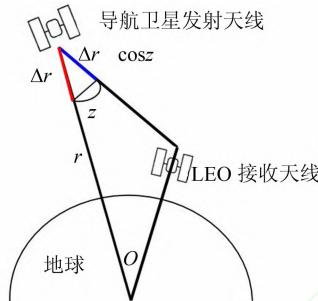


图 1 LEO 标定导航卫星天线相位中心原理示意图

Fig. 1 Relationship Between Satellite and LEO Receiver Antenna Phase Center

图 1 中, r 为导航卫星到地心的距离; z 为导航卫星天底角; Δr 为导航卫星天线相位中心偏差。

对于某 LEO 卫星观测到的一颗导航卫星(为便于说明,本文理论推导及后面的估计策略均以一颗导航卫星为例),其观测值因为卫星发射天线相位中心偏差 Δr 及变化 PCV 引起的距离改正可表示为:

$$\Delta\rho(z) = \text{PCV}(z) - \Delta r \cdot \cos z \quad (1)$$

如果其他误差修正较为合理,倘若在精密定轨时不引入导航卫星天线相位中心变化值 PCV,其会在残差数据中体现出来。

考虑到 LEO 精密定轨中引入的 IGS 提供的天线相位中心偏差和精密卫星钟差等产品可能存在较小的误差,这些也会表现在定轨的残差中。LEO 精密定轨的残差中包含以下几个部分:

$$\text{Res}(z) = \text{PCV}(z) - \Delta r \cdot \cos z - \Delta\rho_T + \epsilon \quad (2)$$

式中, $\text{Res}(z)$ 为精密定轨之后导航卫星对应的天底角为 z 时的残差; $\text{PCV}(z)$ 为相应导航卫星天线相位中心变化; Δr 为 IGS 公布的 GPS 导航卫星

天线相位中心偏差残余误差; $\Delta\rho_T$ 为 CODE 公布的导航卫星的精密产品的综合误差等项; ϵ 为残余的观测噪声。

式(2)改写成:

$$\text{Res}(z) = \text{PCV}(z) + \Delta r \cdot (1 - \cos z) - (\Delta\rho_T + \Delta r) + \epsilon \quad (3)$$

$$\text{或 } \text{Res}(z) = \text{PCV}(z) + \Delta r \cdot (1 - \cos z) - c + \epsilon \quad (4)$$

式中, $c = (\Delta\rho_T + \Delta r)$ 。

由上式可以看出, $\Delta r \cdot (1 - \cos z)$ 为由于存在天线相位中心偏差误差项导致的一个与天底角有关的趋势项,而 c 是由于天线相位中心偏差误差、卫星钟差误差和模糊度参数等之间有着很强的相关性,难以完全分离而形成的一个组合常数项^[12]。也就是说由于定轨解算中引入的产品中存在的多项误差,导致精密定轨的残差中不仅包含平滑的 PCV,还存在一个常数项 c 和一个与天底角有关的趋势项 $\Delta r \cdot (1 - \cos z)$ 。

另一方面,我们考虑将导航卫星天线相位中心变化天底角拓展到 17°。由图 1 可知,低轨卫星的观测值对应的导航卫星最大天底角比在地面上的要大^[5,12],这就为我们提供了可用的数据。以 JASON-2 为例,其卫星高度约为 1 336 km,可观测的最大天底角达到约 17°。

为了更好的了解 LEO 观测数据在导航卫星各天底角处的分布,特对 JASON-2 卫星共 39 d (2012 年 1~13 日,121 日~133 日,241~253 日) 的观测数据分布情况进行了统计,详见图 2。

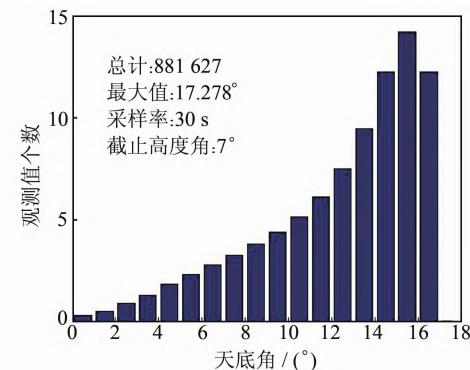


图 2 观测值随天底角分布图

Fig. 2 Distribution of Observations with Respect to the Satellite Nadir Angle

表 1 观测值按天底角区域分布统计表

Tab. 1 Statistics of Observations

天底角分布	观测值数量	百分比/%
大于 14°	386 222	43.8
小于 14°	495 405	56.2

由图2和表1可以看出,JASON-2大部分观测值分布在导航卫星高天底角部分,其中有约44%的数据分布在天底角大于14°的部分,因此需要将天线相位中心变化天底角拓展至17°。

2 估计策略及方法

本文思路是利用LEO精密定轨中消电离层观测值的残差,建立与天底角有关的导航卫星天线相位中心变化模型。其具体过程如下。

1) 首先引入CODE精密轨道和钟差产品,固定IGS08.atx中GPS导航卫星发射天线天线相位中心偏差PCO和IGG(Institute of Geodesy and Geophysics)使用的LEO的PCO,另外还引入基于LEO精密定轨残差建模得到的LEO的PCV网格模型,这一部分本文不做讨论,可参考文献[7,13],然后采用消电离层组合观测数据进行非差简化动力学精密定轨,最后从定轨残差中提取包含常数项和趋势项的PCV_{raw}。

由于包含趋势项和常数项的导航卫星天线相位中心变化具有连续性,为了拟合更光滑,这里用一个以天底角为变量的一元四次函数来描述PCV_{raw}:

$$PCV_{raw} = a_0 + a_1 \cdot z^1 + \dots + a_4 \cdot z^4 \quad (5)$$

式中, a_0, \dots, a_4 为一元四次多项式系数; z 为天底角。

将LEO精密定轨后得到的某一导航卫星的所有观测残差Res作为观测数据,利用最小二乘残差平方和最小准则

$$\sum_{j=1}^n [Res_j - PCV_{raw}]^2 = \min \quad (6)$$

平差解算,即可得到系数的估值 $\hat{a}_0, \dots, \hat{a}_4$ 。然后利用式(7)插值得到1°分辨率的PCV_{raw}:

$$PCV_{raw}^k = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \cdot k^1 + \dots + \hat{a}_4 \cdot k^4, \quad k = 0, 1, \dots, 17 \quad (7)$$

2) 从PCV_{raw}中分离出常数项和趋势项,得到平滑的PCV_{new}。参考式(4),PCV_{raw}可表达成:

$$PCV_{raw}^k = PCV_{new}^k + \delta r \cdot (1 - \cos k) - c, \quad k = 0, 1, \dots, 17 \quad (8)$$

考虑到目前IGS中的PCO和PCV的0~14°部分(基准为0~14°平滑,参见文献[2,3])是基于地面数据解算得到,并且精密轨道和精密钟差也都是采用地面数据解算得到,天底角也都位于0~14°,为了很好地分离出残余的导航卫星PCO和钟差影响,本文也选取PCVs中0~14°部分平

滑^[12,14],来分离得到常数项 c 和趋势项 δr ,进而得到天底角0~17°部分的PCVs。

此时,利用PCV_{raw}^k ($k = 0, 1, \dots, 14$)作为观测数据,利用准则(9),进行最小二乘平差解算,即可得到 δr 和 c 的估值 $\hat{\delta r}$ 和 \hat{c} 。

$$\sum_{k=0}^{14} \{PCV_{raw}^k - [\delta r \cdot (1 - \cos k) - c]\}^2 = \min \quad (9)$$

将 $\hat{\delta r}$ 和 \hat{c} 的估值代回式(8),可得到0~17°的PCV_{new},即

$$PCV_{new}^k = PCV_{raw}^k + \hat{c} - \hat{\delta r} \cdot (1 - \cos k), \quad k = 0, 1, \dots, 17 \quad (10)$$

3) 迭代。由于本文的解算是基于精密定轨的残差进行分析处理,部分PCV在精密定轨中可能被其他参数所吸收,所以上述估计过程需要迭代。在迭代时引入新的导航卫星PCV_{new}(同类型卫星的PCV取平均),整个迭代过程停止迭代的标准是几类GPS卫星0~14°部分的PCV改正量标准差小于1 mm,本文的结果迭代两次。其具体处理流程如图3所示。

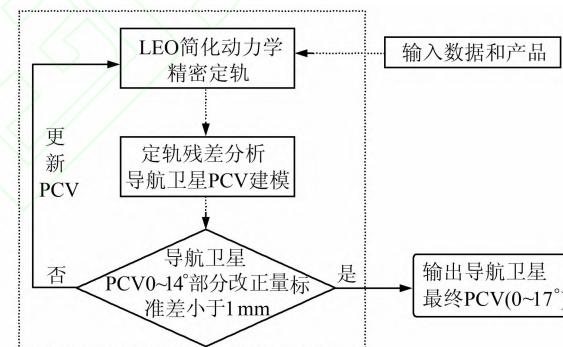


图3 导航卫星PCV解算流程图

Fig. 3 Flowchart of Resolutions of GPS PCV

3 算例分析

首先对JASON-2卫星简化动力学精密定轨中的三段共39 d(2012年1~13日,121~133日,241~253日)的残差数据进行了统计,每一段都包含一个JASON-2轨道重复周期。这段时间中, GPS导航卫星共有5类:IIF、IIR-B、IIA、IIR-M、IIR-A,其中, PRN24无数据, PRN27天线类型有更换, 所以未做统计。图4是不同卫星的统计结果,由于同类卫星残差图很相似,这里每一类只给出一颗卫星的结果。

由图4可以看出,残差图中各类卫星的残差

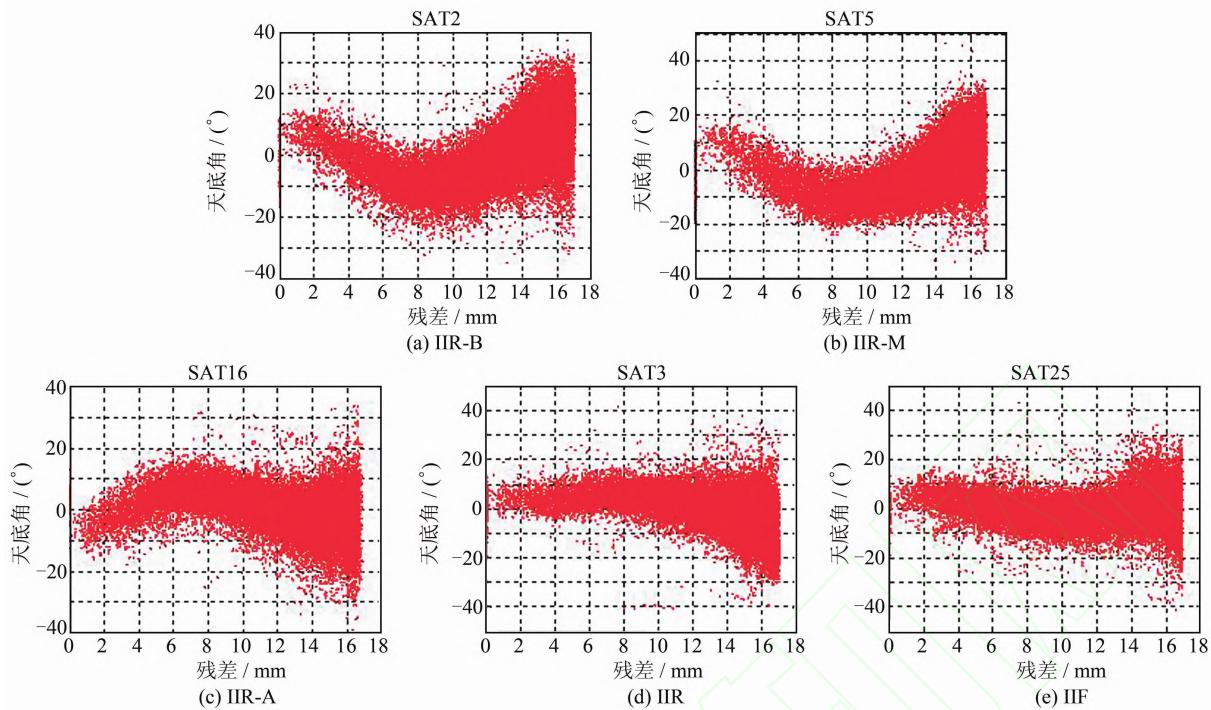


图 4 5 类 GPS 卫星残差分布图

Fig. 4 Distribution of Residuals from Five Kinds of Satellites

分布有明显的连续性和系统性,这就意味着可以利用数学模型去拟合这些残差;另外,还可以看出 IIR-B 和 IIR-M 系列天线的残差图十分相似,在后面的 PCV 解算中也发现这两类卫星的 PCV 差异很小,所以在最终 PCV 中将两类卫星合为一类。

由图 5 可以看出,进行第 3 次解算后,得到 $0 \sim 14^\circ$ 部分的 PCV 改正值标准差已低于 1 mm (图 5(b)),由此得到最终的 PCV。

表 2 最终 PCV 与 IGS08 差异统计/mm

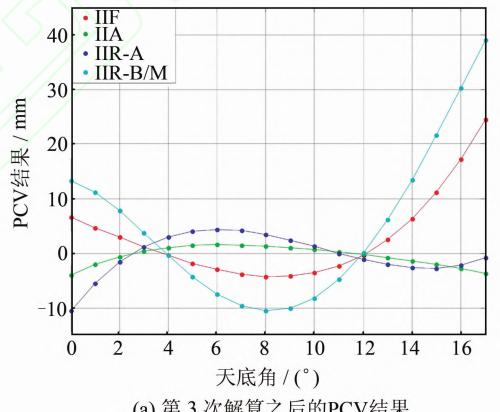
Tab. 2 Statistics of the Differences Between the Final

IGG PCVs and PCVs from IGS08/mm

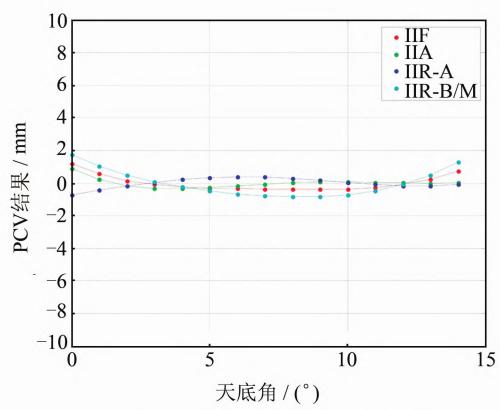
统计值区域	IIF	IIA	IIR-A	IIR-M
及类型	卫星	卫星	卫星	卫星
均值($0 \sim 17^\circ$)	0.0	0.6	1.2	0.3
标准差($0 \sim 17^\circ$)	0.6	1.6	3.1	1.2
均值($1 \sim 14^\circ$)	0.1	0.2	0.3	0.2
标准差($1 \sim 14^\circ$)	0.4	0.6	1.1	0.7

图 6 和表 2 显示的是本文估计所得天线相位中心变化值与 IGS08.atx 的比较,可以看出,在天底角 $0 \sim 17^\circ$ 范围内,只有天底角 0° 和 17° 部分由于处于模型边缘且 0° 附近数据较少,所以存在略大一点的偏差(IIR-A 略差),其余部分与 IGS 结果基本吻合,差异在 $1 \sim 2$ mm。

为了进一步验证本文方法所得结果的有效性和分析导航卫星发射天线相位中心变化对 LEO 精密定轨的影响,选取了 2012-01-16 ~ 2012-01-



(a) 第 3 次解算之后的 PCV 结果



(b) 第 3 次解算之后的 PCV 改正值

图 5 迭代解算过程中 PCV 演变图

Fig. 5 PCVs During the Iteration

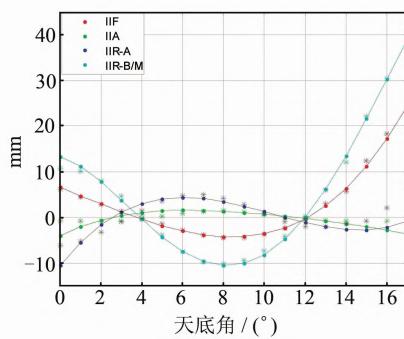


图 6 最终 PCV 与 IGS08 的比较及差异图
(图中 * 为 IGS 值; • 为本文结果)

Fig. 6 Comparison and Differences Between the Final IGG PCVs and PCVs from IGS08

25 共一个轨道重复周期的数据。设计了以下几种方案(各方案中除导航卫星 PCV 不同之外,其他定轨模型和策略完全一样),具体说明见表 3。

表 3 不同的 GPS 卫星的 PCV 方案说明

Tab. 3 Description of the Schemes Using Different GPS PCVs

方案	说明
方案 1	0~17°全部为 0
方案 2	0~14°采用 IGS 结果,15~17°采用 14°值常数延伸
方案 3	0~17°全部采用本文结果
方案 4	0~14°IGS 结果,15~17°本文结果
方案 5	0~17°全部采用 IGS 最新结果

为了分析因 PCV 的不同导致的绝对定轨误

差,将五种方案的定轨结果与 JPL 精密轨道进行比较,结果见表 4。

表 4 不同 PCV 方案定轨结果与 JPL 精密轨道的差异统计(2012-01-16~2012-01-25)/cm

Tab. 4 RMS Statistic of the Differences Between the Orbits from the Five Schemes and JPL
(2012-01-16~2012-01-25)/cm

方案	径向	切向	法向	3D-RMS
方案 1	2.36	2.62	1.54	3.84
方案 2	1.28	2.45	1.39	3.10
方案 3	0.81	2.52	1.36	2.98
方案 4	0.81	2.53	1.36	2.98
方案 5	0.80	2.52	1.33	2.96

由表 4 可以看出,方案 1 的结果表明,导航卫星 PCV 对 JASON-2 定轨结果影响有 mm~cm 级,如果不进行改正,会带来约 2cm 的定轨误差,特别是在径向上。方案 2 的结果表明,天底角 15°~17°部分采用 14°的值常数延伸对 LEO 定轨也有着 mm 级的影响,主要在径向上;后 3 种方案的结果之间的差异却很小,初步表明本文方法确实有效且精度良好。为了进一步分析 PCV 对定轨的影响,将方案 1~4 的定轨结果与方案 5 的结果做差,探讨前 4 种 PCV 方案的定轨结果与使用 IGS 公布的 0~17°GPS 的 PCV 定轨结果的差异,另外,为了探讨本文所得 0~14°部分对 LEO 定轨的影响,将方案 3 和 4 也做了比较,详见图 7 和表 5。

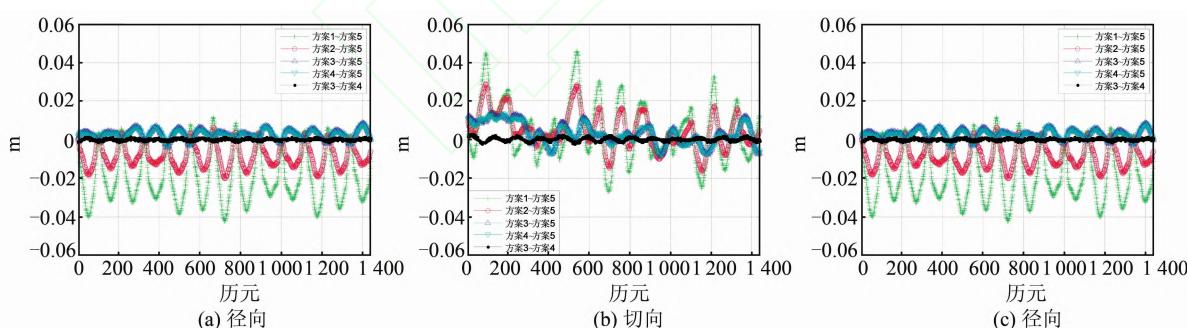


图 7 各方案所得轨道之间的差异(2012-01-17)

Fig. 7 Differences Between the Orbits from the Five Schemes (2012-01-17)

表 5 各方案所得轨道之间的差异统计(2012-01-16~2012-01-25)/cm

Tab. 5 RMS Statistic of the Differences Between the Orbits From the Five Schemes (2012-01-16~25)/cm

径向	切向	法向	径向	切向	法向	径向	切向	法向	3D	
均值	均值	均值	STD	STD	STD	RMS	RMS	RMS	RMS	
方案 1~5	-2.26	0.17	0.25	1.20	1.44	0.30	2.56	1.45	0.39	2.97
方案 2~5	-1.29	0.14	0.08	0.66	0.93	0.24	1.45	0.94	0.26	1.75
方案 3~5	-0.23	-0.01	0.03	0.11	0.15	0.06	0.25	0.15	0.07	0.30
方案 4~5	-0.23	-0.02	0.04	0.10	0.13	0.05	0.25	0.13	0.07	0.29
方案 3~4	0.01	0.01	0.00	0.07	0.12	0.05	0.07	0.12	0.05	0.14

由图 7 和表 5 可以看出,方案 1~5 的结果反映出,导航卫星发射天线 PCV 对 LEO 定轨的影响主要集中在径向和切向上,径向上均值和标准差会有 1 cm~2.5 cm 左右的偏差,切向上标准差有 1 cm~1.5 cm 的差异;方案 2~5 的结果表明常数延伸 PCV 得到的定轨结果相对方案 1 有较大改善,但是依然存在约 1.3 cm 的偏差,这也表明 15~17°部分的 PCV 对 JASON-2 精密定轨有着较大的影响;方案 3~5 和方案 4~5 的结果反映出,本文所得 PCV 与 IGS 的 PCV 在 JASON-2 精密定轨结果上差异较小,主要在径向上有约 2 mm 的均值偏差;方案 3~4 的结果表明本文所得 0~14°部分的 PCV 对 JASON-2 精密定轨影响小于 1 mm。

由此可见,要得到高精度 LEO 轨道,需要仔细考虑 15°~17°部分的 PCVs;而基于本文方法解算得到的 GPS 卫星 PCV 在天底角 0~14°部分,与 IGS08.atx 中的 PCV 值相比,符合很好,精度达到 1 mm,15°~17°部分也很好,只有 IIR-A 类卫星略差;基于本文 PCV 进行 JASON-2 精密定轨,可以达到 3D-RMS 约为 3 cm,径向优于 1 cm 的精度,与采用 IGS 的 PCV 得到的轨道相比差异在 2 mm~3 mm,主要体现在径向上。整体说明此方法确实可行且有效,精度良好。

4 结 语

本文尝试了一种基于 LEO 实测星载 GNSS 残差建模的方法,利用 JASON-2 3 个轨道重复周期的数据,估计导航卫星天线相位中心变化,并将天底角成功拓展至 17°。与 IGS08_1745.atx 的 PCV 差异在 1 mm~3 mm。利用本文所得 PCV 和其他几种方案,探讨了导航卫星 PCV 对 LEO 精密定轨的影响,一个独立的轨道重复周期的结果表明 PCVs 对 JASON-2 精密定轨有着 1 cm~2 cm 的影响,定轨中需要认真考虑。基于本文所得 PCV 的定轨结果 3D-RMS 约为 3 cm,径向精度优于 1 cm,与采用 IGS 的 PCV 解算的轨道相比差异在 2 mm~3 mm。本文方法不受对流层的影响,拓展了天底角范围,且在较短时间即可实现全球覆盖,所得 PCV 精度良好,可为其他卫星导航系统特别是我国北斗卫星天线相位中心的在轨标定提供有益参考。

参 考 文 献

[1] Gendt G. IGS Switch to Absolute Antenna Model

and ITRF2005 [R]. IGSMAIL-5438, IGS Central Bureau, Pasadena, 2006

- [2] Schmid R, Steigenberger P, Gendt G, et al. Generation of a Consistent Absolute Phase Center Correction Model for GPS Receiver and Satellite Antennas [J]. *Journal of Geodesy*, 2007, 81(12): 781-798, doi:10.1007/s00190-007-0148-y
- [3] Ge M, Gendt G. Estimation and Validation of the IGS Absolute Antenna Phase Center Variations[C]. Proc 2004 IGSWorkshop and Symposium, Bern, 2005
- [4] Jäggi A, Dilssner F, Schmid R, et al. Extension of the GPS Satellite Antenna Patterns to Nadir Angles Beyond 14°[C]. IGS Workshop 2012, Olsztyn, Poland, 2012
- [5] Jäggi A, Dilssner F, Schmid R, et al. Extension of the GPS Satellite Antenna Patterns Beyond 14°[C]. European Geosciences Union General Assembly 2012, Vienna, Austria, 2012
- [6] Khachikyan R. IGS08_1745. atx; Update Including GPS Satellite Antenna PCV Extension [R]. IGSMAIL-6786, IGS Central Bureau, Pasadena, 2013
- [7] Haines B, Bar-Sever Y, Bertiger W, et al. One-Centimeter Orbit Determination for Jason-1: New GPS-Based Strategies[J]. *Marine Geodesy*, 2004, 27 (1/2): 299-318, doi: 10.1080/01490410490465300
- [8] Dilssner F, Springer T, Flohrer C, Dow J. Estimation of Phase Center Corrections for GLONASS-M Satellite Antennas[J]. *Journal of Geodesy*, 2010, 84 (8):467-480
- [9] Dach R, Schmid R, Schmitz M, et al. Improved Antenna Phase Center Models for GLONASS[J]. *GPS Solutions*, 2011, 15:49-65
- [10] Zhang Xiaohong, Li Pan, Li Xingxing, et al. Influence of Antenna Phase Center Correction Model on Precise Point Positioning[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 36 (12):1 470-1 473(张小红,李盼,李星星,等.天线相位中心改正模型对 PPP 参数估计的影响[J].武汉大学学报·信息科学版, 2011, 36 (12): 1 470-1 473)
- [11] Zhu Zhiqin, Li Zhenghang, Liu Wanke. Impact on GPS Data Processing of Changing from Relative Phase Center Correction to Absolute Phase Center Corrections[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(11):1 301-1 304(朱智勤,李征航,刘万科.相位中心改正模式的转变对 GPS 数据处理的影响[J].武汉大学学报·信息科学版, 2009,34(11):1 301-1 304)
- [12] Schmid R, Rothacher M. Estimation of Elevation-

- Dependent Satellite Antenna Phase Center Variations of GPS Satellites [J]. *Journal of Geodesy*, 2003, 77(7/8):440-446
- [13] Guo Jing, Zhao Qile, Li Min, et al. Centimeter Level Orbit Determination for HY2A Using GPS Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(1):52-55(郭靖, 赵齐乐, 李敏, 等. 利用星载 GPS 观测数据确定海洋 2A 卫星 cm 级精密轨道[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2013,38(1):52-55)
- [14] Li Xiaobo, Wang Xiaoya, Ren Jinwei. Research on Calibration Methods of GNSS Antenna Phase Center Offsets and Variations[J]. *Progress in Astronomy*, 2012, 30 (4): 501-517 (李晓波, 王小亚, 任金卫. GNSS 天线相位中心偏差与变化精确标定方法研究[J]. 天文学进展, 2012,30(4):501-517)

Estimation of GPS Antenna Phase Center Variation and Its Effect on Precise Orbit Determination of LEOs

MA Yang^{1,2} OU Jikun¹ YUAN Yunbin¹ HUO Xingliang¹ DING Wenwu¹

1 State Key Laboratory of Geodesy and Earth's Dynamics, Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China

2 University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Accurate calibration of GPS satellite transmitting antenna phase centers is very important for precise GNSS data processing, as well as for precise orbit determination of LEOs. This paper takes GPS as the starting point for a new method based on residuals from space-borne data to calibrate GPS satellite antenna PCVs. PCVs obtained from JASON-2 GPS residuals are compared with igs08_1745.atx. Results show that the agreement is about 1 mm~2 mm below 14°, and the estimated GPS PCVs values is extended up to nadir angle of precisely 17°. Several schemes were designed to consider the effects of GPS PCVs on the precise orbit determination of LEOs. Results show that errors about 2 cm can be caused by GPS PCVs. The resulting PCVs obtained the same accuracy orbits as ones using IGS PCVs, with accuracy at about 3cm in 3D, and 1cm in the radial direction. The method used in this paper can provide references for calibrating the antenna phase center variation of BEIDOU satellites.

Key words: GPS; LEO; JASON-2; precise orbit determination; phase center variation(PCV)

First author: MA Yang, PhD, specializes in PPP of combining GNSS and precise orbit determination of LEOs. E-mail: mayang@asch.whigg.ac.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41174015,41074013,41231064,41104012.