

文章编号: 1000-8349(2007)03-0279-05



双向定时近周日误差成分初步分析

刘 利^{1,2}, 韩春好², 唐 波²

(1. 中国科学院 上海天文台, 上海 200030; 2. 北京 5136 信箱, 北京 100094)

摘要: 该文介绍了利用地球同步卫星定位系统进行双向定时的基本原理, 采用北京和乌鲁木齐两站的试验数据进行了计算分析, 发现双向定时结果明显存在周期性变化, 并且两地结果随地方时的变化趋势基本一致。谱分析表明: 两站的主要周期谱基本一致, 都比较明显地存在近周日和近半日变化。这种周期性变化可能主要由电离层延迟随地方时的变化引起。

关键词: 天体测量学; 地球同步卫星定位系统; 时间; 双向定时

中图分类号: P228.1 **文献标识码:** A

1 引 言

地球同步卫星定位系统是我国自主建设的一种新型、全天候、高精度、区域性的卫星导航定位系统, 具有快速定位(导航)、双向简短报文通信和授时三大功能^[1,2]。从某种意义上说, 导航系统也是一个时间频率源, 目前地球同步卫星定位系统具有单向和双向定时功能。本文就结合我们在北京和乌鲁木齐两地的试验数据分析了双向定时中的近周日误差成分。

对于利用我国卫星导航系统进行的双向定时, 其精度取决于用户和中心站的测量精度、设备时延标定精度、电离层延迟修正精度、秒信号的准确度以及环境引起的干扰等因素, 而星历误差、站址位置误差、对流层延迟误差等影响可以忽略^[3,4]。由于系统同时采用了 L、S、C 三个波段, 电离层延迟的影响相对于卫星双向时间传递(TWSTT)较大, 并且往返路径的电离层延迟影响不能相互抵消, 再加上测量精度、设备时延标定精度的限制, 目前双向定时的精度还不如双频 GPS 共视和 TWSTT 的比对精度高。

2 双向定时基本原理

如图 1 所示。地球同步卫星定位系统双向定时的基本原理是: 中心站在本地时间基准的控制下定时向卫星发射时间帧询问信号, 该信号经卫星转发后被用户双向定时终端所接收,

收稿日期: 2006-04-11; 修回日期: 2006-07-07

从而测出询问信号与本地钟秒信号的时间间隔;同时用户双向定时终端向卫星发射响应信号,经卫星转发被中心站接收,由中心站测出信号往返时间延迟,并算出该信号由中心站发出至用户双向定时终端接收的正向传播时延,再经卫星发送给用户双向定时终端作为双向定时时延修正值。用户利用该修正值就能得到相对于系统时间的钟差^[3,4]。

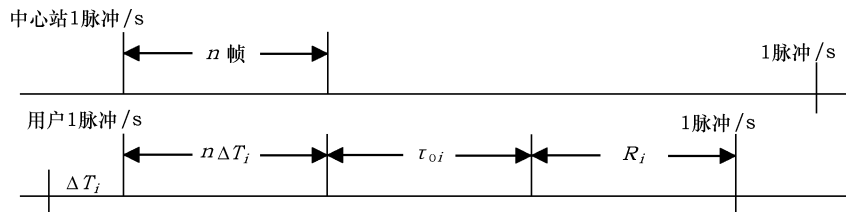


图1 地球同步卫星定位系统双向定时基本原理图

对于任一用户 i ,

$$\Delta T_i = 1 - n \cdot \Delta t - R_i - \tau_{oi}. \quad (1)$$

其中, $\Delta T_i \equiv t - T_i$ 为用户 i 相对于系统时间的钟差; 1 表示 1 脉冲/s 对应的整秒数; $n \cdot \Delta t$ 为第 n 帧对应的时间; R_i 为用户 i 测得的由中心站经卫星转发到用户 i 接收整个路径的时延观测量; τ_{oi} 为中心站计算给出的中心站到用户 i 的正向传播时延。

根据式(1), 要计算用户钟差 ΔT_i , 必须计算中心站到用户的正向传播时延 τ_{oi} 。实际中, τ_{oi} 近似采用下式计算得到^[4],

$$\tau_{oi} = \frac{1}{2} \left[R_{oi} + (\tau_{oi}^{\text{air}} - \tau_{io}^{\text{air}}) - \tau_i^{\text{equ2}} \right] + \tau_i^{\text{equ1}}. \quad (2)$$

其中, τ_i^{equ1} 为信号由中心站到用户正向传播过程中的设备时延和; τ_i^{equ2} 为信号正反向传播过程中的设备时延和; R_{oi} 为中心站测得的到用户 i 的往返时延观测量; τ_{oi}^{air} 为信号由中心站到用户正向传播过程中的大气时延(包括对流层时延和电离层时延); τ_{io}^{air} 为信号由用户到中心站反向传播过程中的大气时延(包括对流层时延和电离层时延)。

上式中, 中心站到用户正向传播过程中的单向设备时延和 τ_i^{equ1} 已经事先标定, 中心站与用户的正反向设备时延和 τ_i^{equ2} 也已经事先标定, 并存储在中心站中作为常数处理。正向传播过程中的大气时延 τ_{oi}^{air} 与反向传播过程中的大气时延 τ_{io}^{air} 由中心站采用分布于全国的标校站观测数据计算得到。利用上式计算出修正值后, 用户就能算得相对于系统时间的钟差。

可见, 双向定时的精度主要取决于用户和中心站的测量误差、设备时延标定误差、正反向传播路径的大气延迟误差以及 1 脉冲/s 信号的准确度等因素, 而星历误差、站址位置误差的影响可以忽略^[3]。

3 试验结果及分析

为了考察双向定时的精度及其影响因素, 对 2004 年 9 月 11 日—13 日在北京和乌鲁木齐两个基准点上的观测试验数据进行了计算分析。试验设备的连接如图 2 所示。

观测试验方案如下: 在北京和乌鲁木齐的两个基准点上分别架设双向定时终端, 北京站使用的外频标为中心站高精度原子钟, 乌鲁木齐站使用的外频标为高精度铯原子钟, 两站响

应同一颗卫星同一波束信号, 由地面中心站测出信号往返时间, 并算出信号由中心站发出至定时终端的正向传播时延, 再发送给定时终端作为双向定时时延修正值。定时终端接收到时延修正值后, 进行定时信号修正, 将定时终端修正后的秒脉冲送至时间间隔计数器, 与本地原子钟输出的秒脉冲比较, 从而得到本地钟与中心站的钟差。

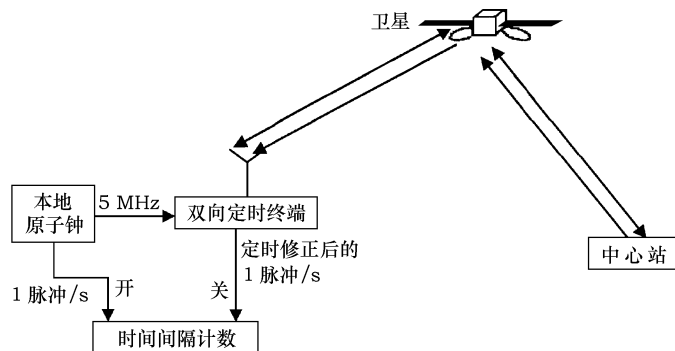


图 2 双向定时设备连接示意图

3.1 试验结果

由于试验同时在北京和乌鲁木齐的两个基准站上进行, 因此会有 2 个钟差值, 这 2 个钟差值反映的是两站两台钟的特性。图 3 给出的就是两站的双向定时试验结果, 为了方便比较已经将两站观测时间划算到了本地的地方时。

由图 3 可以看出:

- 1) 地球同步卫星双向定时结果明显存在周日变化, 相对于平均值的变化大约在十几纳秒左右;
- 2) 北京站双向定时结果的变化比乌鲁木齐结果稍小些, 但是两地结果随地方时的变化趋势基本一致。

为了进一步验证两地结果随地方时变化的一致性, 对上面的计算结果进行了谱分析, 得到的主要周期如下表所示:

表 1 试验数据的周期谱分析结果

	主要周期 /h	
	北 京	乌 鲁 木 齐
5 min 平滑	18.8、12.2	21.3、8.5
10 min 平滑	28.4、12.2	21.3、8.5

由上表可以看出: 两站都比较明显地存在近周日和近半日的主要周期项。

3.2 结果分析

采用式 (1) 进行地球同步卫星双向定时计算时, 主要的误差源有: 时间测量误差、设备时延误差、电离层延迟修正误差、对流层延迟修正误差等。

时间测量误差包括用户测量误差和中心站测量误差, 但是时间测量误差主要是随机误差, 不会产生近周日的周期变化^[2,3]。

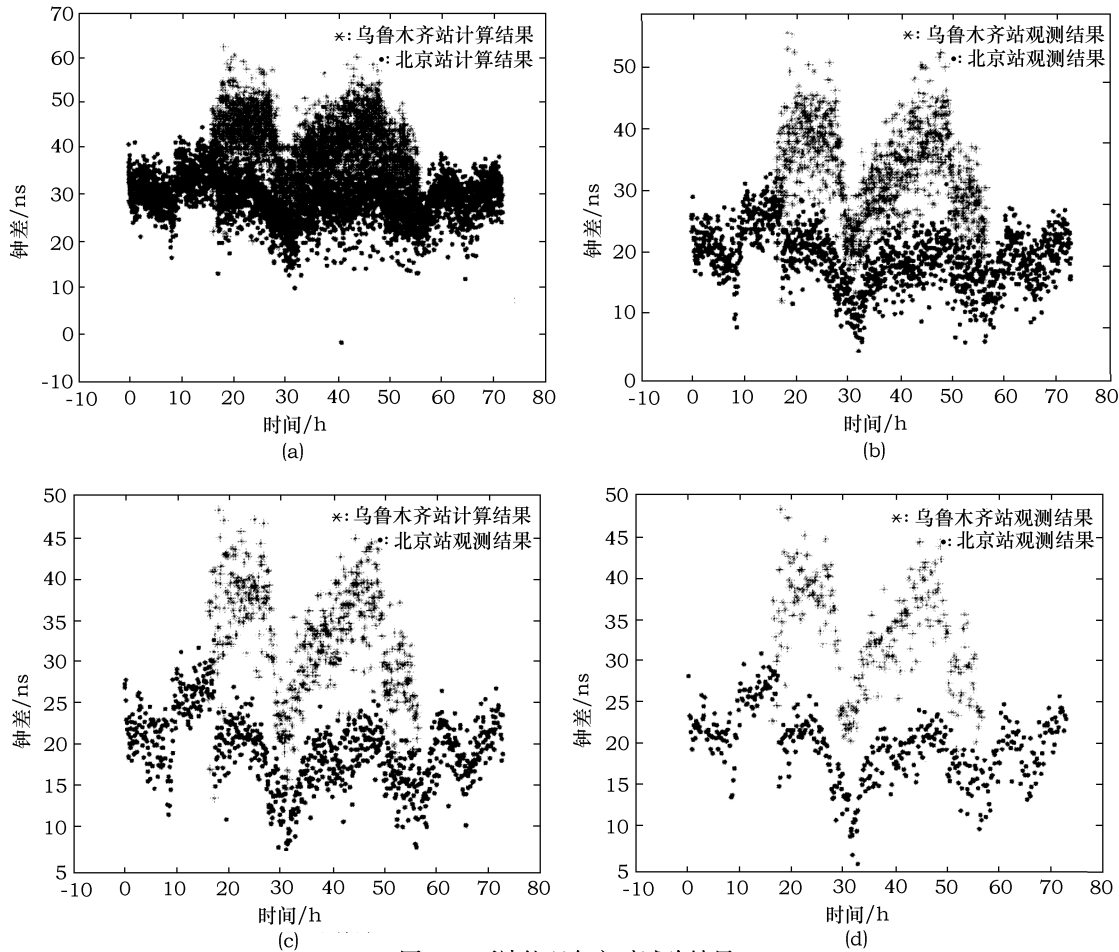


图 3 两站的双向定时试验结果

(a) 为原始观测结果, (b)、(c)、(d) 分别为 3、5、10 min 平滑结果

对流层延迟采用模型修正的方法, 现在常用对流层延迟模型的修正精度已经很高, 一般估计误差约在几 cm 左右^[5,6]。对流层延迟虽然会随着大气温度、气压、湿度的变化而变化, 但是由于模型修正后误差已经很小, 因此, 对流层延迟修正误差不会是引起上面双向定时结果呈周期性变化的主要因素。

设备时延误差包括中心站到用户的正向传播设备时延误差和正反双向传播设备时延误差, 由于设备时延采用事先标定的方法, 如果忽略标定系统随机误差的影响, 那么设备时延的标定误差会以系统误差的形式反映到计算结果中, 不会使双向定时结果产生周期项。而设备时延并不一定能保持常值, 它可能会随着温度等影响而不断变化, 如果这种变化主要取决于外界温度, 那么设备时延对计算结果的影响有可能体现出周期性变化。但是, 由式(2)可以看出, 如果设备的发射和接收时延随温度的变化特性基本一致, 则正反双向传播设备时延误差的一半与正向传播设备时延误差之差也应该不会影响双向定时结果; 如果设备的发射和接收时延随温度的变化特性存在差别, 则会对双向定时结果产生一些周期性的变化, 但是这种变化不会表现出十几纳秒大的周期项。

电离层延迟主要与太阳活动状况、地方时、地理纬度等因素有关^[6]。太阳活动对电离层的影响主要体现在 11 年周期上, 对于短期试验可以忽略; 地方时对电离层的影响周期是日, 并考虑到影响电离层延迟的因素相当复杂, 因此, 电离层延迟修正误差可能是造成本文试验结果呈周日周期性变化的一个重要因素。

由于暂时没有其他资料进行验证, 并且结果中至少存在两种以上的周期谱, 因此, 引起地球同步卫星双向定时结果呈周期性变化的具体原因还有待进一步分析确定。

4 结 论

综合本文试验分析结果可以得出以下结论:

1) 地球同步卫星双向定时结果明显存在周期性变化, 相对于平均值的变化大约在十几纳秒左右, 并且两地结果随地方时的变化趋势基本一致。

2) 对计算结果的谱分析表明, 两站的主要周期谱基本一致, 都比较明显地存在近周日变化和近半日变化。

3) 电离层延迟随地方时的变化可能是引起地球同步卫星导航系统双向定时结果呈周期性变化的主要原因, 设备时延随温度的变化也可能产生部分影响, 但具体原因还有待进一步分析确定。

参考文献:

- [1] 吴延忠, 李贵琦. 地球同步卫星定位. 北京: 解放军出版社, 1992
- [2] 姜景山. 空间科学与应用. 北京: 科学出版社, 2001
- [3] 刘利, 韩春好, 唐波. 地球同步卫星双向定时精度分析. 杭州: 导航会议论文集, 2005
- [4] 刘利, 韩春好. 地球同步卫星双向共视时间比对及试验分析. 西安: 全国时间频率学术交流会, 2005
- [5] 刘利. 相对论时间比对与高精度时间同步技术. 北京: 解放军信息工程大学, 2004
- [6] 杨力. 大气对 GPS 测量影响的理论与研究. 郑州: 信息工程大学测绘学院, 2001

Approximate Daily Error Analysis of Two-way Time Determination

LIU Li^{1,2}, HAN Chun-hao², TANG Bo²

(1. Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Science, Shanghai 200030, China; 2. P.O.Box 5136, Beijing 100094, China)

Abstract: The theory of two-way time determination using the geostationary satellite positioning system is introduced. Calculation and analysis are done using test data on Beijing and Urumchi stations. The results show that obvious periodical variations exist in two stations' two-way time determination, and the varying trend of these variations with local time is consistent with each other. Spectrum analysis indicates that these variations have one-day and half-day major periodic spectrums, and which are approximate equal on two stations. It is analyzed that these periodical variations are possible due to ionospheric delay varying with the local time.

Key words: astrometry; geostationary satellite positioning system; time; Two-way Time Determination