

文章编号: 1671-8860(2009)11-1290-03

文献标志码: A

# 基于全球激光观测资料的 COMPASS-M1 轨道质量评定

耿 涛<sup>1</sup> 赵齐乐<sup>1,2</sup>

(1 武汉大学卫星导航定位技术研究中心, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

**摘要:** 基于国际激光联测网观测资料, 研究了不同定轨弧段条件下的 COMPASS-M1 卫星轨道的确定、预报及其质量评定。研究结果表明, 定轨弧段取 19 d 时, 该卫星的径向、三维位置精度平均为 0.207 m、2.28 m; 预报 1 d 时, 径向、三维位置精度平均为 0.25 m、2.75 m。

**关键词:** COMPASS-M1; ILRS; 卫星定轨

**中图法分类号:** P228.41; P228.5

卫星轨道的精密确定需要全球分布的观测站联合不间断的观测才能充分发挥测量技术的潜力, 达到较好的定轨精度<sup>[1]</sup>。目前, COMPASS-M1 基于无线电测距观测资料的跟踪站布设局限在国内, 观测几何图形强度较弱; 而且只有单颗导航卫星, 不能直接采用差分算法以消除钟差; 对流层湿延迟、模糊度参数与钟差参数的相关性极强, 从而使得基于无线电测距观测资料的定轨精度在 5 m 量级<sup>[2]</sup>。

利用全球分布的激光站进行长弧段的测距观测, 获得高精度的观测资料, 可以对卫星精密轨道、卫星钟差、无线电测距观测量等进行精度评估<sup>[3-5]</sup>。COMPASS-M1 带有 42 个激光反射器, 是一个比较稳定的激光测距目标。2008 年 12 月以来, 国际激光测距网 (international laser ranging service, ILRS) 对其进行了联测试验<sup>[6]</sup>。本文基于国际激光联测数据研究了不同定轨弧段条件下 COMPASS-M1 的轨道确定、预报及其质量评定。

## 1 观测数据量统计

本文采用国际激光测距网 ILRS 提供的 2009 年 1 月 26 日至 5 月 30 日共 125 d 的观测资料进

行定轨试验, 期间对 COMPASS-M1 观测的激光站共有 19 个。

由于 COMPASS-M1 离地面约 20 000 km, 运行周期较长, 观测难度大, 因此获得的激光观测资料较少。在上述 125 d 试验期间, 总共获得 1 914 个标准点, 各个激光站的观测数据量统计如图 1 所示。可以看出, 不同激光站的观测数据量相差较大, 位于阿根廷的 San Juan 和澳大利亚的 Yarragadee 两个激光站的观测数据量最大, 占全部观测数据的 37.8%; 而部分激光站的观测数据量极少, 仅获得几个标准点数据。不同天的观测情况也相差很大, 单天观测数据量最大为 59, 单天观测数据量为零的天数有 18 d, 占全部观测天数的 14.4%。

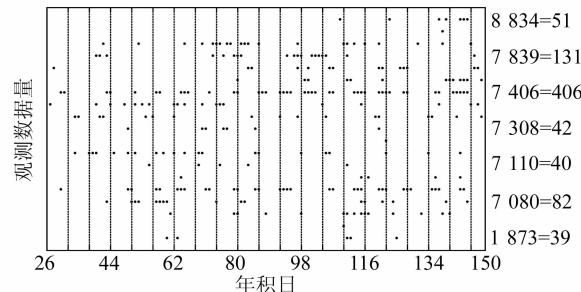


图 1 激光站观测数据量统计

Fig. 1 SLR Observation Data

收稿日期: 2009-09-15。

项目来源: 国家 973 计划资助项目 (2006CB701301); 国家自然科学基金资助项目 (40874004); 国家 863 计划资助项目 (2006AA12Z326, 2007AA12Z345); 高等学校学科创新引智计划资助项目 (B07037)。

## 2 数据处理策略

本文进行数据处理的软件是 PANDA 软件<sup>[7,8]</sup>。定轨中,动力学模型为  $12 \times 12$  阶的 EIGEN\_GL04 地球引力场模型;日、月和其他行星(DE405)引起的  $N$  体引力摄动;顾及固体潮、海潮和极潮的影响;太阳光压摄动仅采用 BERN 模型,估计参数包括  $\dot{e}_D$ 、 $\dot{e}_Y$ 、 $\dot{e}_B$  方向上的 3 个辐射压系数以及 6 个周期项摄动系数<sup>[9,10]</sup>。测量学模型为固定测站坐标;顾及潮汐引起的测站坐标偏移、相对论效应等改正;对流层延迟采用 Marini-Murray 模型改正。

为了得到与动力学模型(太阳辐射压)最佳匹配的定轨弧段和最佳精度的卫星轨道,本文采用不同长度( $n=13, 15, 17, 19, 21, 23$ )的定轨弧段进行了轨道确定和 1 d 轨道预报。由于缺少真实的参考轨道,利用重叠弧段比较和定轨残差两种方式进行了质量评定,重叠弧段比较和定轨残差值越小,表明轨道质量越好。数据处理过程和重叠弧段比较示意图如图 2 所示。



图 2 数据处理过程和重叠弧段比较示意图

Fig. 2 Orbit Determination Overlapping Arcs

## 3 精密轨道质量评定

当定轨弧段分别为 13 d、15 d、17 d、19 d、21 d、23 d 时,其径向精度分别为 24.7 cm、22.4 cm、21.6 cm、20.7 cm、20.9 cm、22.2 cm。可见,定轨弧段取 19 d 时,径向精度最好,以弧段起始年积日为横坐标,图 3 和图 4 分别给出了重叠弧段比较结果和定轨残差结果,径向、切向、法向和三维位置的 RMS 平均分别为 0.207 m、1.34 m、1.64 m 和 2.28 m。可见,径向精度最高,各天均优于 60 cm;切向和法向精度最差,这是由于 SLR 观测资料主要反映的是径向方向的测距值。

由图 3 可知,各个重叠弧段的差异较大,这是因为定轨精度与激光站的观测数据量和地理分布密切相关,较少的观测数据量和较差的激光站地理分布的定轨弧段将得到较差的定轨精度。

从图 4 可以看出,定轨残差在 4 ~ 21 cm 之间,平均为 12 cm。考虑到激光观测值的观测误差

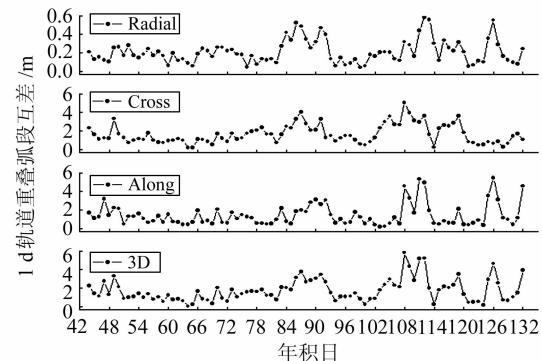


图 3 精密轨道质量评定

Fig. 3 Orbit Overlap Consistency

为 2 cm 左右,说明定轨残差中包括了未模型化(特别是太阳光压模型)的残留误差。如何进一步精化太阳光压模型是提高定轨精度的关键因素之一。

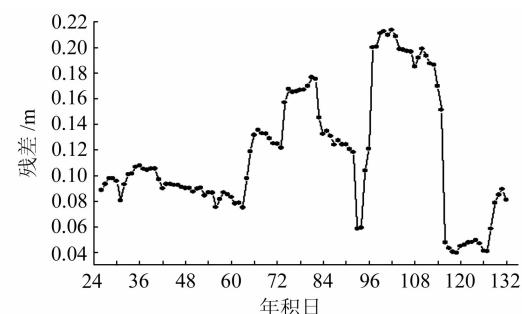


图 4 SLR 定轨残差统计

Fig. 4 SLR Residuals

## 4 预报轨道质量评定

图 5 给出了定轨弧段取 19 d 时,1 d 预报轨道质量的评定结果。其中,径向误差随时间的衰减率最小,各天均优于 80 cm,平均精度为 25 cm;切向、法向误差衰减率最大,平均精度分别为 1.82 m、1.76 m;三维位置 1 d 的预报精度在 0.88 ~ 7.19 m 之间,平均为 2.75 m。

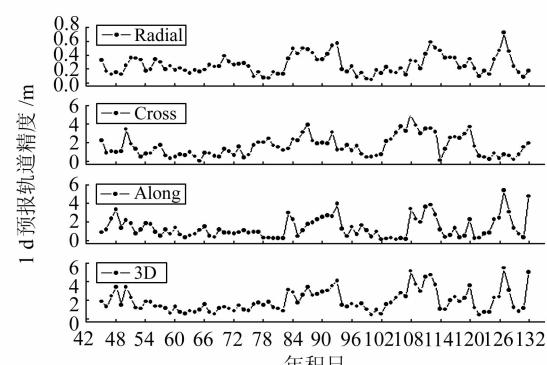


图 5 预报轨道质量评定

Fig. 5 Orbit Prediction Accuracy

上述研究结果表明,基于国际激光联测网观测资料,当太阳光压摄动不采用先验模型,仅估计 $\hat{e}_D$ 、 $\hat{e}_Y$ 、 $\hat{e}_B$ 方向上的3个辐射压系数以及6个周期项摄动系数,定轨弧段取19 d时,COMPASS-M1卫星的轨道质量达到最佳,径向、三维位置的精度平均为20 cm、2.28 m;预报1 d,三维位置的精度平均为2.75 m。建议在我国第二代卫星导航系统建设中,不仅要利用国内跟踪站的无线电测距观测资料,而且还应充分发挥国际激光联测网观测资料的贡献。

## 参 考 文 献

- [1] 魏子卿,葛茂荣. GPS 相对定位的数学模型[M]. 北京:测绘出版社, 1998
- [2] 耿涛. 基于区域基准站的导航卫星实时精密定轨理论及试验应用[D]. 武汉:武汉大学, 2009
- [3] 秦显平,杨元喜,王刚,等. SLR 资料精密测定 GLO-NASS 卫星轨道[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003,28(4):440-443
- [4] 路晓峰,贾小林,杨志强. 利用 SLR 和 GPS 双频相位平滑伪距资料测定导航卫星钟差[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2008,28(4):237-240
- [5] 祝美英,吴云,杜瑞林,等. 流动 SLR 乌鲁木齐站观测精度评估[J]. 大地测量与地球动力学, 2008,28(2):127-131
- [6] Pearlman M R, Noll C E, Gurtner W, et al. The International Laser Ranging Service(ILRS)[OL]. [http://iag.dgfi.badw.de/fileadmin/IAG-docs/Travaux\\_ILRS.pdf](http://iag.dgfi.badw.de/fileadmin/IAG-docs/Travaux_ILRS.pdf), 2007
- [7] Liu Jingnan, Ge Maorong. PANDA Software and Its Preliminary Result of Positioning and Orbit Determination [J]. Wuhan University Journal of Natural Science, 2003,8(2B):603-609
- [8] 耿涛,赵齐乐,刘经南,等. 基于 PANDA 软件的实时精密单点定位研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007,32(4):312-315
- [9] Springer T A, Beutler G, Rothacher M. Improving the Orbit Estimates of GPS Satellites [J]. Journal of Geodesy, 1999,73:147-157
- [10] 陈俊平,王解先. GPS 定轨中的太阳辐射压模型[J]. 天文学报, 2006,47(3):310-319

第一作者简介:耿涛,博士,研究方向为卫星大地测量及卫星精密定轨。

E-mail:gt\_gengtao@whu.edu.cn

## Determining Orbit of COMPASS-M1 Using International Laser Ranging Data

GENG Tao<sup>1</sup> ZHAO Qile<sup>1,2</sup>

(1 Research Center of GNSS, Wuhan University, 129 Louyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Louyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** COMPASS-M1 satellite orbits with different arc lengths are determined based on SLR-only data collected from the ILRS tracking network. Orbit overlaps and range residuals are derived to assess the orbit quality. SLR-based orbits of 19 days arc length are determined with an accuracy of about 0.207 m in radial orbit component, 2.28 m in 3D position, and 0.25 m in radial orbit component, 2.75 m in 3D position after 1 day of prediction.

**Key words:** COMPASS-M1; ILRS; satellite orbit determination

**About the first author:** GENG Tao, Ph. D, majors in satellite geodesy and precise orbit determination.

E-mail: gt\_gengtao@whu.edu.cn