

HY-2 卫星激光观测精密定轨技术

王晓慧¹, 彭海龙¹, 林明森¹, 周旭华², 吴 斌²

(1. 国家卫星海洋应用中心, 北京 100081; 2. 上海天文台, 上海 200030)

[摘要] 2011年8月16日发射的海洋二号(HY-2)卫星是中国第一颗海洋动力环境卫星, 配备的卫星激光测距跟踪系统即作为 HY-2 卫星定轨基准系统, 同时又是 HY-2 卫星定轨系统之一。本文较为详细地介绍了 HY-2 卫星激光观测、轨道预报和激光跟踪系统(SLR)定轨技术, 并对 SLR 定轨结果进行了初步检验。

[关键词] 精密定轨; 全球定位系统; 多普勒雷达和无线电定位组合系统(DORIS); 卫星激光测距

[中图分类号] V443 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)06-0090-07

1 前言

激光跟踪系统(SLR)成为地测主要跟踪系统已经超过了20年^[1-3]。SLR跟踪系统测量的是地面发射器发射的脉冲到卫星上激光反射器, 再由激光反射器反射到地面跟踪站接收系统的双程的时间。许多现代系统使用的是几个光子或者单光子的水平, 从跟踪精度上看 SLR 代表最先进的跟踪系统, 精度达到几个毫米, 绝对精度对于最好的仪器可以达到1 cm。对于所有的陆地跟踪数据, 中性大气延迟可以计算, 与无线电波相比, 激光所在的波段不受电离层的影响, 而且水汽的影响也比无线电波小。SLR系统主要弱点就是跟踪站稀疏的地理分布和测距局限在晴朗天气的条件。

2011年8月16日发射的海洋二号(HY-2)卫星是中国第一颗海洋动力环境卫星, 载有雷达高度计、雷达散射计、微波辐射计和校正辐射计, 辅助设备有多普勒雷达和无线电定位组合系统(DORIS)接收机、双频GPS接收机和激光反射棱镜阵列, 其中激光反射棱镜阵列为国内自主研发。SLR跟踪系统作为HY-2卫星定轨基准系统, 同时也是HY-2

定轨系统之一, 本文介绍了HY-2卫星SLR轨道预报和精密定轨技术。

2 激光站控制子系统组成

国际激光测距服务(ILRS)于1998年成立, 功能是服务于全球SLR观测和数据管理, 通过向ILRS组织的申请, HY-2卫星加入了SLR国际联测。

HY-2卫星激光站控制子系统由上海处理中心和北京处理中心两部分组成, 上海处理中心承担与国内7个激光测距站、国家卫星海洋应用中心(NSOAS)、地壳动力学数据信息系统(CDDIS)之间的自动化、业务化的SLR数据传输和交换以及SLR轨道预报。北京处理中心承担SLR数据统计分析、SLR精密定轨和精密轨道评估。激光站控制子系统组成如图1所示。

1) 北京数据处理中心将精密卫星预报星历数据上传到数据交换文件传输协议(FTP), 传输给上海处理中心。

2) ILRS组织将HY-2卫星SLR地面跟踪站坐标数据上传到数据交换FTP, 传输给上海处理中心。

3) 国际激光测距数据处理中心从数据交换FTP

[收稿日期] 2014-04-10

[基金项目] 海洋公益性行业科研专项经费项目“HY-2卫星海洋动力环境探测数据应用服务技术系统与示范”(2013418032), “自主海洋动力环境卫星微波遥感处理技术研究示范”(201105032)

[作者简介] 王晓慧, 1968年出生, 女, 黑龙江绥化市人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为卫星精密定轨; E-mail: xhwang@mail.nsoas.gov.cn

获取CPF格式激光观测数据文件,并将全球激光数据资料上传到数据交换FTP,传输给上海处理中心。

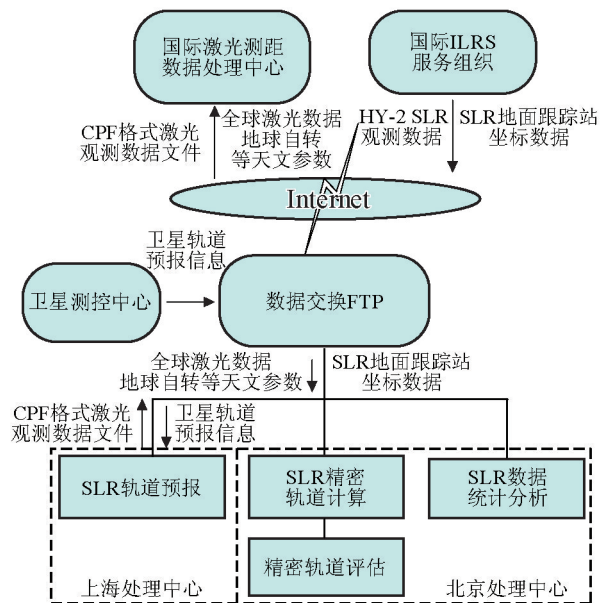


图1 激光站控制子系统组成

Fig. 1 The configuration of SLR station control subsystem for HY-2 satellite

4)上海处理中心从数据交换FTP获取观测数据文件,经过数据预处理模块,获取预处理后的SLR观测数据,并将其上传到数据交换FTP,经过精密轨道确定模块处理,得到精密轨道,并将其上传到数据交换FTP,进行轨道预报,包括CPF格式轨道预报数据及J2000.0坐标系和地固系下的轨道预报数据。

5)北京数据处理中心从数据交换FTP获取激

光观测数据,经过激光数据预处理与分析,生成预处理后的SLR观测数据与SLR月分析报告。

6)北京数据处理中心从数据交换FTP获取精密轨道数据,经过轨道产品外部质量检验评估生成质量外部检验报告。

3 HY-2卫星SLR观测情况

当前全球约有50多个人卫激光测距跟踪站,且分布比较均匀。相当多的SLR站通过了仪器改造,具备白天观测功能。从地理位置角度,SLR站大致分属3个国际网,美国宇航局网(NASA)、欧洲网(EUROLAS)和西太平洋网(WPLTN)。我国有7个激光测距站,为ILRS提供激光测距数据。

3.1 全球SLR激光站及观测数据统计

截至2013年8月31日,国内外共有28个激光站参与对HY-2卫星跟踪观测,获得71 849个观测记录。图2为SLR站对HY-2卫星的观测统计。横坐标的四位数字为台站的国际编号,纵坐标为观测记录。

从图2可看出,7090(Yarragadee,澳大利亚)SLR站获得的HY-2的激光测距数目最多,7825站(Mt Stromlo,澳大利亚)、7105(Greenbelt,马里兰)和7810(Zimmerwald,瑞士)次之。

图3为2011年10月2日—2012年2月29日按时间序列给出的全球SLR跟踪站每天的观测数据统计。

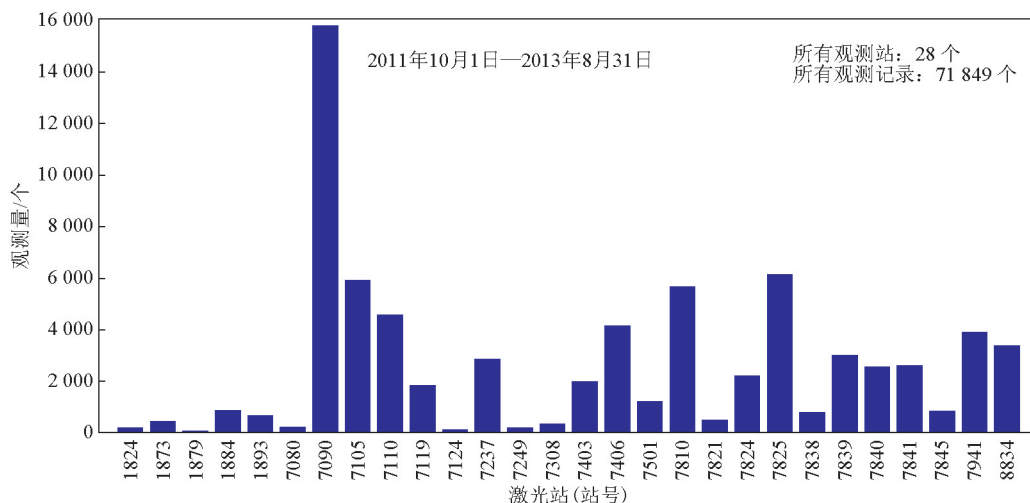


图2 SLR站对HY-2卫星的观测统计

Fig. 2 The measurement statistics of HY-2 satellite for the SLR stations

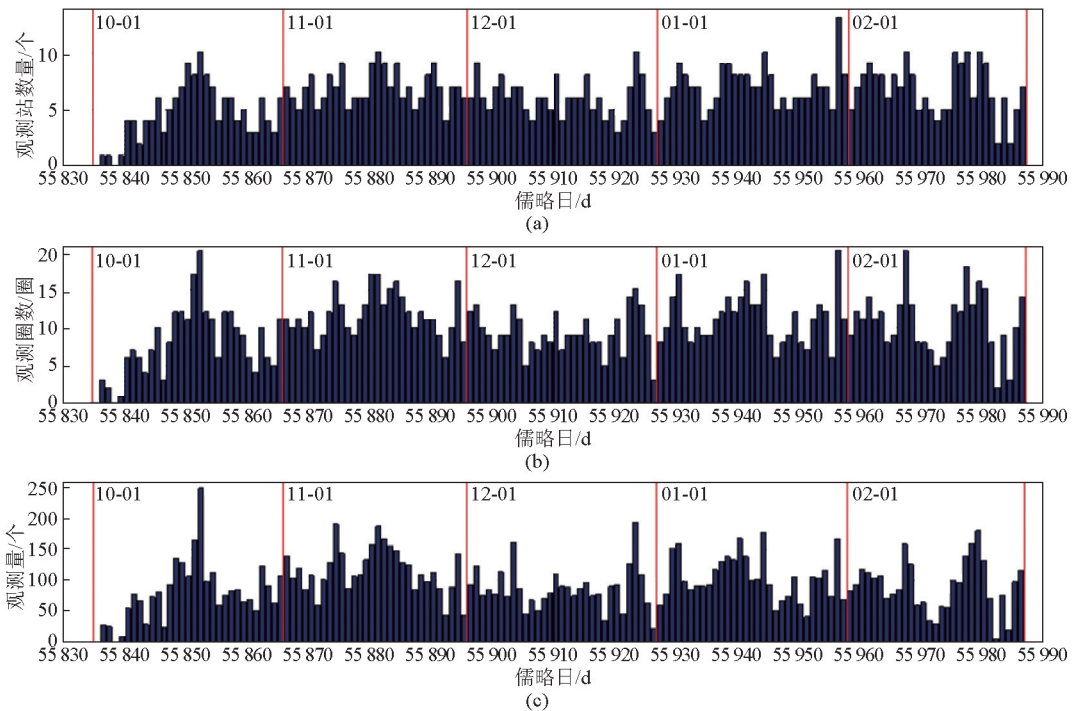


图3 SLR站对HY-2卫星的观测统计

Fig. 3 The measurement statistics of HY-2 satellite for the SLR stations

由图3可看出,观测前期获取SLR的观测数据相对少些,以后就比较稳定,每天都有4个以上的SLR站在跟踪HY-2卫星。HY-2的SLR观测记录足以实现对HY-2卫星的精密定轨、轨道预报和轨道检核等工作。

3.2 中国SLR激光站及观测数据统计

我国有7个激光测距站,为ILRS提供激光测距数据。武汉等SLR站由于设备和天气问题,一直没有给出HY-2卫星的SLR观测记录。

对于北京天文台在阿根廷建立的SLR激光站应属于中国SLR站,截至2012年3月29日,跟踪到HY-2卫星的中国SLR站有3个:长春(7237)、上海(7821)和天文台阿根廷(7406)站。

图4给出2011年10月2日—2012年2月29日上述3个站的SLR跟踪观测数据统计。

由图4可看出,长春几乎每天都有SLR观测数据。上海和天文台阿根廷站由于天气等原因,跟踪有间断。

4 HY-2卫星SLR轨道预报

从SLR站常规观测角度,每天都要根据CPF格

式的预报轨道拟定跟踪计划。根据跟踪计划,对地球卫星进行有选择的跟踪。如果SLR站获取的CPF格式轨道预报精度很差,就有可能跟踪不到卫星,因此高精度预报轨道对SLR跟踪站非常重要。

上海处理中心每天定时下载HY-2卫星的SLR数据。利用前3天SLR数据在精密定轨的同时向后提供3天的HY-2卫星预报轨道,并用FTP传给国际激光测距卫星预报中心。如果把预报轨道和法国太空总署(CNES)的精密轨道作比较,则可以评价其精度。下面给出2012年2月3日—5日之间3天预报轨道与定轨结果的比较,结果见图5。

用中误差对上述数据进行统计,发现3天预报轨道与精密定轨结果在X、Y、Z方向的中误差分别为24.4 m、24.6 m和33.7 m;在RTN方向分别为0.2 m、48.8 m和2.1 m;三维差异为48.4 m,满足SLR观测要求。

分析1个月的轨道预报,发现3天预报结果与CNES的MOE差异的RMS都小于200 m。目前的SLR站对HY-2的跟踪状况也证实了上海处理中心发布的预报轨道精度满足要求。

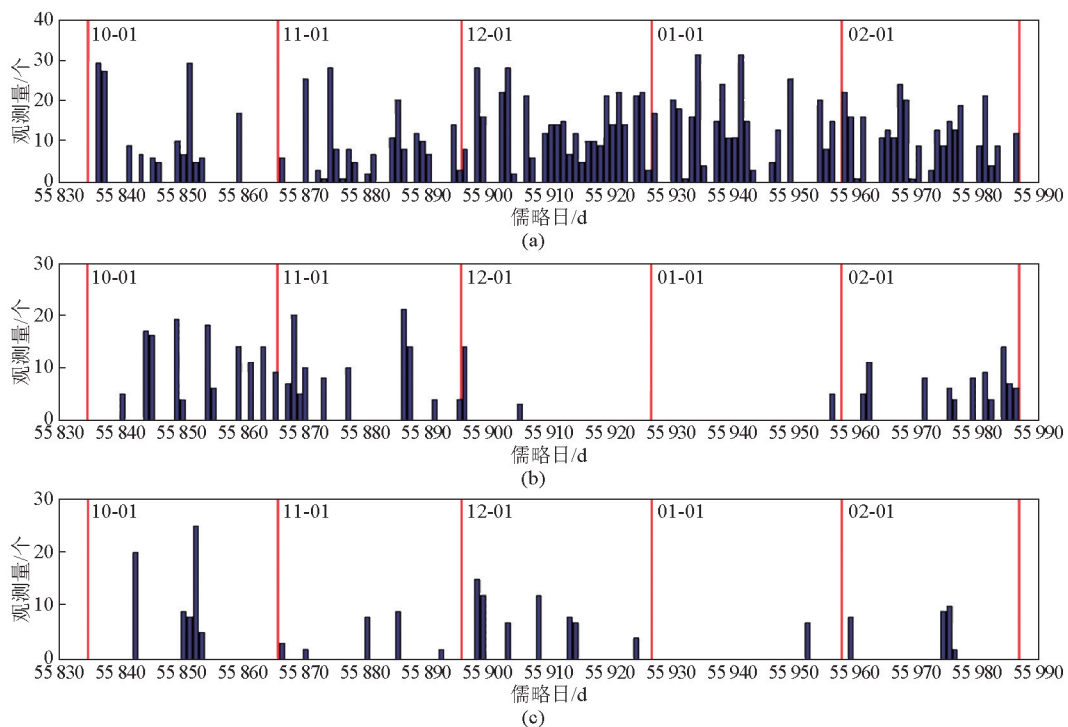


图4 SLR站对HY-2卫星的观测统计

Fig. 4 The measurement statistics of HY-2 satellite for the SLR stations

注:(a)为长春(7237);(b)为天文台阿根廷(7406);(c)为上海(7821)

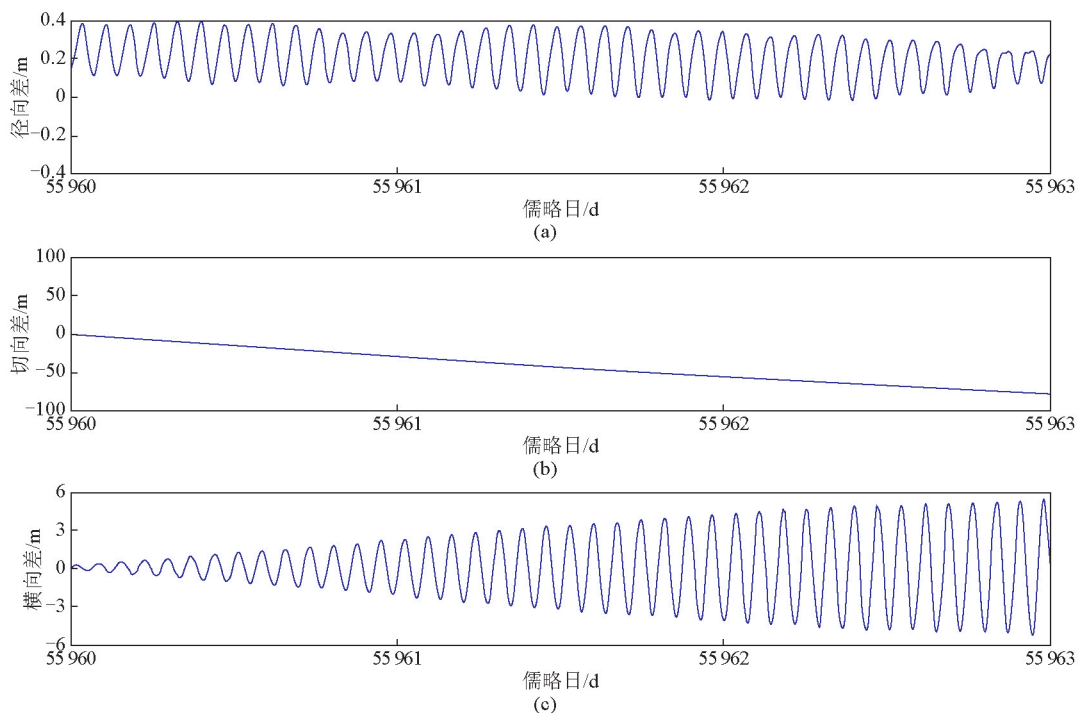


图5 预报轨道与法国DORIS精密定轨结果的比较

Fig. 5 The orbit comparison between DORIS solution and the predicted SLR solution

5 HY-2卫星SLR精密定轨

5.1 SLR精密定轨策略

在用SLR数据对HY-2卫星精密定轨中,运用的是动力学方法,力学模型及参数如表1所示。

5.2 SLR精密定轨

由于卫星没有真实的轨迹,因此需要对精密定

轨结果进行轨道评估,轨道评估一般包括内部验证和外部验证两种类型,内部验证主要完成轨道精度的内部评估,外部验证主要实现与其他软件定轨结果的互比验证分析。本文内部验证采用了重叠弧段比较和激光检核两种方法,外部验证采用独立轨道比较方法,选取的中等精度轨道星历(MOE)产品时间为2012年3月。

表1 力学模型及解算参数设置
Table 1 SLR solution for POD of HY-2 satellite

动力学模型			待估参数		
地球重力场	GGM02c模型	150×150阶	初始轨道	3-D位置和速度	72 h估算一组初轨
大气阻力摄动	DTM94模型	分段解算大气阻力参数	大气阻力参数	分段解算	24 h估算一组大气阻力参数
太阳光压	Box-Wing模型	Rim 1992	T, N 方向经验力	分段解算	24 h估算一组参数
固体潮摄动	IERS96规范	McCarthy 1996			
海潮摄动	CSR4.0	Eanes 1994			
广义相对论摄动	IERS2003规范	McCarthy and Petit 2002			
周期性RTN摄动		分段估算 T, N 方向参数			
N 体摄动	太阳、月亮引力摄动	JPL DE/LE 200大行星历			

5.2.1 重叠弧段比较

重叠弧段比较定轨弧段采用30 h,相邻弧段重复6 h,图6给出了2012年3月SLR精密定轨重叠弧

段比较结果。从图6可看到,SLR定轨结果重叠弧段比较均方差(RMS)为2 cm左右。

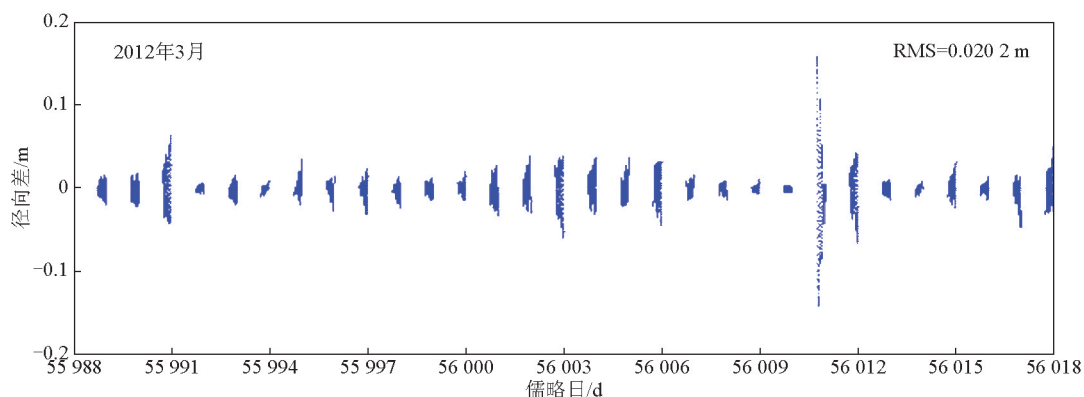


图6 SLR精密定轨重叠弧段比较结果(2012年3月MOE)

Fig. 6 The overlap orbit comparison results for SLR solution(MOE, March, 2012)

5.2.2 激光检核

激光检验过程中,SLR残差为SLR直接测得的站星距与星载GPS/DORIS定轨结果计算得到的站星距之差。卫星轨道径向误差检验一般采用高仰角激光数据,考虑HY-2激光数据量,这里采用仰角

大于60°的激光数据进行HY-2卫星轨道径向精度检验。图7给出了2012年3月利用SLR资料精密定轨的轨道SLR残差分布,其中SLR残差RMS为3.73 cm。从图7可看出,SLR残差有些偏差。

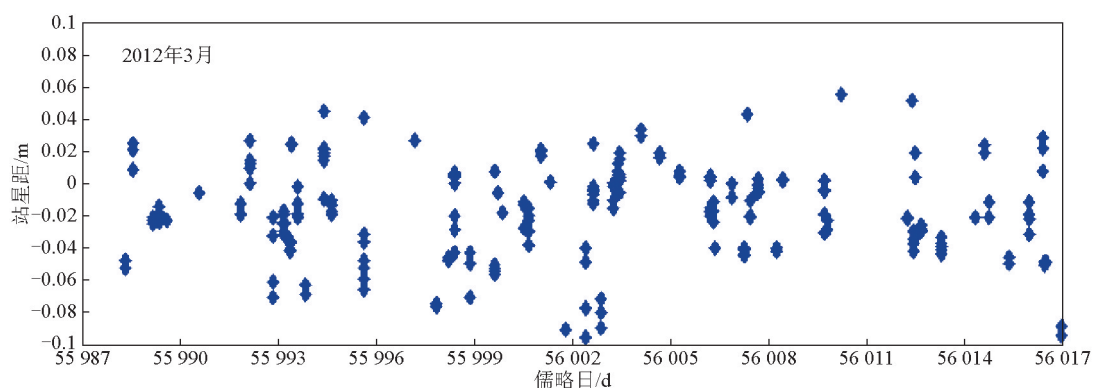


图7 SLR定轨产品SLR检核结果(2012年3月MOE)

Fig. 7 The results of SLR validation for SLR solution (MOE, March, 2012)

5.2.3 独立轨道比较

分别将DORIS和GPS定轨产品与SLR定轨的MOE产品进行比较,图8给出了SLR和DORIS观测数据精密定轨的径向MOE的比较结果,图9给出了SLR和GPS观测数据精密定轨径向MOE的比较结

果。从图中可以看到,SLR定轨产品在2012年3月运行比较稳定,SLR定轨与DORIS定轨结果比较径向RMS为2.97 cm,与GPS定轨产品比较径向RMS为3.49 cm。

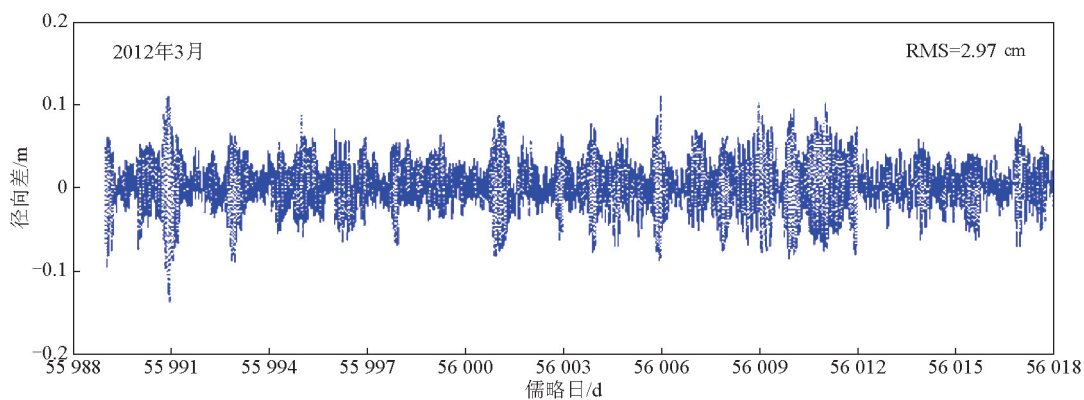


图8 DORIS定轨与SLR定轨产品径向比较结果(2012年3月MOE)

Fig. 8 The radial orbit comparison results between DORIS and SLR solution (MOE, March, 2012)

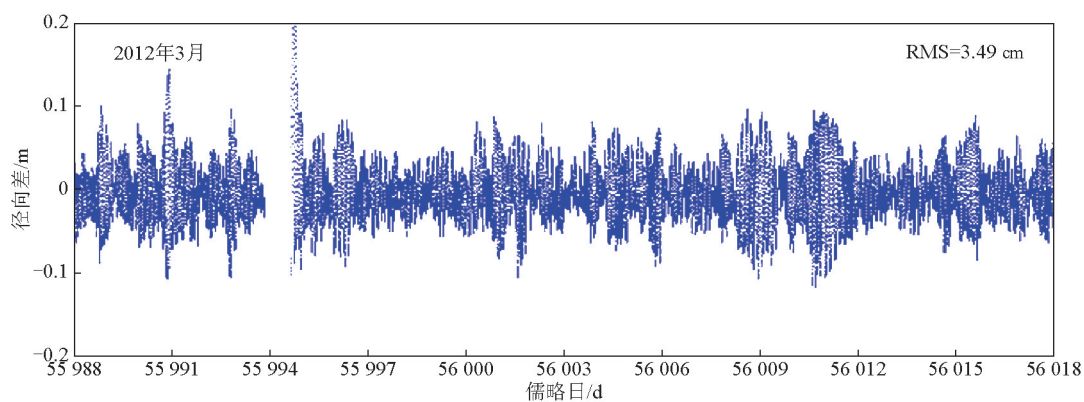


图9 GPS定轨与SLR定轨产品径向比较结果(2012年3月MOE)

Fig. 9 The radial orbit comparison between GPS and SLR solution (MOE, March, 2012)

6 结语

1) HY-2 卫星利用 SLR 联测数据实现了轨道预报、数据收发、精密定轨和轨道预报的闭环运行,运行稳定。

2) 截至 2013 年 8 月 31 日,国内外共有 28 个激光站参与对 HY-2 卫星跟踪观测,获得 71 849 个观测记录。中国 SLR 网有 3 个站参与观测。SLR 观测精度优于 1 cm,与国外同类卫星联测相比观测数量和质量相当。长春 SLR 站在联测中首次测到 HY-2,中国 SLR 网采用 kHz 和白天测距技术在晴夜、地影和白天都能成功观测到 HY-2。

3) 利用 3 天 SLR 数据,可以给出 3 天 HY-2 卫星高精度预报轨道。与 CNES 的 MOE 轨道相比,其差异不超过 200 m,能满足正常 SLR 观测要求。

4) 对 2012 年 3 月的 SLR 精密定轨结果进行了内部和外部质量验证,径向 MOE 运行比较稳定,重叠弧段比较残差为 2 cm 左右,激光检核为 3.73 cm,独立轨道比较为 3.5 cm 左右。

5) 从激光联测的数据获取看,中国 SLR 网的数

据由于天气的影响,数据偏少,数据主要来源于长春站、上海站和境外的阿根廷站。通过 SLR 联测中国网数据对 HY-2 精密定轨结果表明,如果能在我国天气较好的西部增加 2 个站,可以独立使用中国 SLR 网的联测数据对类似 HY-2 的卫星精密定轨达到分米精度,将对我国卫星的精密定轨有广泛应用。另外,在 HY-2 的 SLR 联测中,中国 SLR 网的有些站激光器工作不正常(目前主要使用国外激光器),降低了 SLR 联测的效率。目前我国研制的 SLR 专用激光器已有一定的基础,希望我国有关部门支持,提高国产 SLR 激光器的研发水平。

参考文献

- [1] Degnan J D. Satellite laser ranging: Current status and future prospects [J]. IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing, 1985, GE-23(4):398-413.
- [2] Nerem R S, Chao B F, Au A Y, et al. Temporal variations of the Earth's gravitational field from satellite laser ranging to Lageos [J]. Geophysical Research Letters, 1993, 20(7):595-598.
- [3] Tapley B D, Schutz B E, Eanes R J, et al. Lageos laser ranging contributions to geodynamics, geodesy, and orbital dynamics [J]. Geodynamics Series, 1993, 24:147-173.

Precise orbit determination technology based on SLR solution for HY-2 satellite

Wang Xiaohui¹, Peng Hailong¹, Lin Mingsen¹,
Zhou Xuhua², Wu Bin²

(1. National Satellite Ocean Application Service, Beijing 100081, China; 2. Shanghai Astronomical Observatory, Shanghai 200030, China)

[Abstract] The HY-2 satellite, launched on August 16, 2011, is the first dynamic environmental satellite in China, carrying the SLR tracking system which serves as the baseline tracking system, and in the meantime is one of technologies of precise orbit determination. The measurement statistics of HY-2 satellite for the SLR stations, the orbit prediction, and the technology of SLR solution of HY-2 POD are showed. Finally the result of the MOE radial accuracy verification for SLR solution of HY-2 satellite is given in this paper.

[Key words] precise orbit determination; GPS; DORIS; SLR