

HY-2 卫星 DORIS 精密定轨技术

蒋兴伟¹, 王晓慧¹, 彭海龙¹, 钟敏², 钟世明²

(1. 国家卫星海洋应用中心, 北京 100081; 2. 中科院测量与物理研究所, 武汉 430077)

[摘要] 2011年8月16日发射的海洋二号(HY-2)卫星是中国第一颗动力环境卫星, 搭载的多普勒雷达和无线电定位组合系统(DORIS)作为HY-2主要定轨手段之一。本文较为详细介绍了HY-2多普勒雷达和无线电定位组合系统定轨技术流程和方法, 并对其定轨结果进行了初步检验。

[关键词] 精密定轨; GPS; DORIS; 激光测距

[中图分类号] V529 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)06-0083-07

1 前言

高度计测高应用的需求, 加速了精密定轨技术的进步, 尤其在 TOPEX/Poseidon(T/P)的发射后, 使卫星精密定轨获得惊人的提高。轨道精度的进步除了轨道动力学模型的改进之外, 跟踪技术的提高是至关重要的。激光测距(satellite laser ranging, SLR)精度由20世纪60年代的几百米量级提高到现在的毫米级; 自从T/P的发射, 出现了多普勒雷达和无线电定位组合系统(doppler orbitography and radiopositioning integrated by satellite, DORIS)及全球定位跟踪系统(global positioning system, GPS), 由于密集分布的跟踪网和高精度的测量数据使得定轨精度有了显著提高^[1-5]。

2011年8月16日我国发射的海洋二号(HY-2)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, 并为精密定轨配备了DORIS、GPS和SLR跟踪系统, 其中DORIS跟踪系统与法国合作。本文介绍了HY-2卫星DORIS定轨技术应用情况, 给出了精密定轨初步结果。

2 精密定轨业务化系统

HY-2卫星精密定轨系统由数据收集和交换子系统、精密轨道预报子系统、精密定轨计算子系统组成, 系统组成如图1所示。

数据收集与交换子系统由数据预处理模块、数据下载模块、数据收集和交换模块构成。卫星原始数据通过数据预处理模块对原始数据包进行预处理, 获得DORIS数据包、卫星姿态数据以及GPS RINEX 2.2一级产品; 通过与Internet网络连接, 数据下载模块通过国际GPS服务(international GPS service)机构数据和产品中心、IERS(international earth rotation service)产品中心、DORIS以及SLR服务中心完成各类精密定轨相关产品与天文辅助数据的下载; 数据收集与交换模块实现与法国之间的数据交换功能以及完成所有数据的收集管理, 并通过物理网闸完成Internet网络与业务网之间的数据传输。

精密轨道预报子系统根据全球激光站观测数据计算卫星预报轨道, 并实时向国际激光测距组织

[收稿日期] 2014-04-09

[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); 海洋公益性行业科研专项经费项目“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

提供HY-2卫星轨道预报文件。

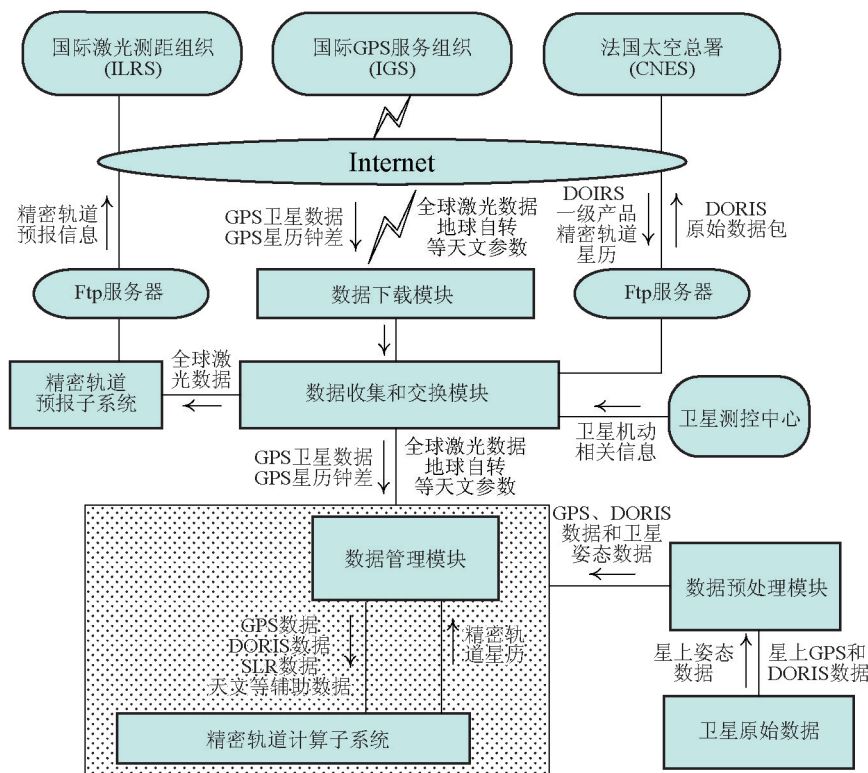


图1 HY-2卫星精密定轨系统组成

Fig. 1 The configuration of precise orbit determination system for HY-2 satellite

精密定轨计算子系统由GPS/SLR定轨、DORIS/SLR定轨、GPS/DORIS/SLR定轨和独立SLR精密定轨4套程序组成,这4套定轨程序由4个机构独立完成。精密定轨计算子系统这4套定轨程序通过读取数据管理模块的精密定轨输入数据即DORIS、GPS和SLR观测数据以及所有的外网下载精密定轨辅助数据进行轨道计算,实时提供HY-2精密定轨medium accuracy orbit ephemeris (MOE)产品和事后处理precise orbit ephemeris (POE)产品。

3 精密定轨技术流程和定轨策略

3.1 DORIS/SLR精密定轨技术流程

DORIS结合激光测距(DORIS/SLR)定轨技术采用的是动力学方法定轨,其中DORIS跟踪系统在精密定轨中起主要作用,SLR跟踪系统在卫星精密定轨中作为基准。DORIS/SLR精密定轨软件流程如图2所示。

观测数据、控制文件通过文件完备性检测,生

成数据完备性检验报告,通过检测则进行数据格式转换,生成内部数据格式的观测数据,进行测量误差修正,获取修正误差的观测数据。修正误差的观测数据经过精密定轨模拟仿真,获取仿真观测数据,辅助进行观测数据的预处理。数据预处理后进行数据的预报/比较,获取卫星状态和星历,获取摄动力值等相关数据,进行初始轨道生成;获取轨道星历,进行轨道积分,生成卫星参考轨道和偏导数;卫星参考轨道进行轨道数据插值和数据转换生成测高数据交叉点轨道;轨道参考数据进行轨道质量内外验证,生成质量检验报告文档。偏导数数据作为动力学模型计算的输入数据。

3.2 DORIS/SLR精密定轨策略

HY-2卫星精密定轨解算两类轨道:MOE和POE。MOE弧长30h,相邻弧段重叠2h,时效延迟26h;POE弧长7天,相邻弧段重叠4h,时效延迟30天。表1给出了HY-2卫星DORIS/SLR精密定轨策略。

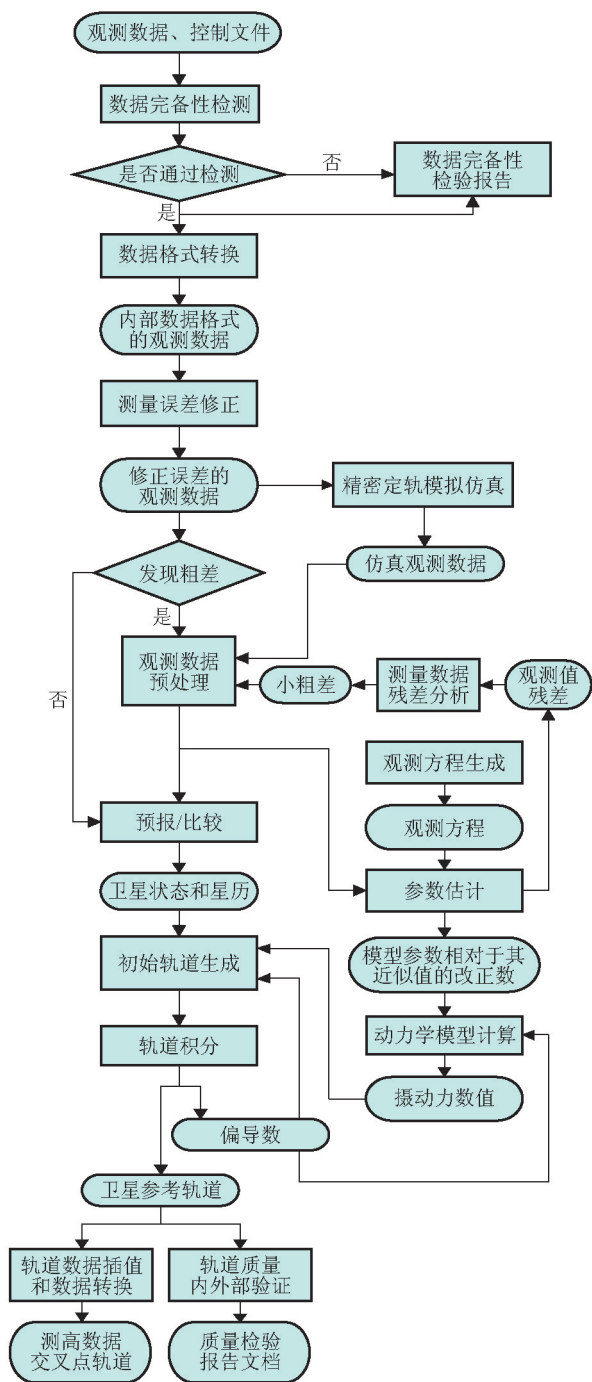


图 2 DORIS/SLR 精密定轨软件流程图

Fig. 2 The diagram of the precise orbit determination for DORIS/SLR solution

4 轨道检验方法

HY-2 卫星精密定轨共有两种产品: MOE 和 POE 产品, 这里对 DORIS/SLR 定轨 MOE 产品进行检验, 检验方法采取 SLR 检核和独立轨道比较两种方法。

表 1 HY-2 卫星 DORIS/SLR 精密定轨策略

Table 1 DORIS/SLR solution for POD of HY-2 satellite

动力学模型	
平均重力场	GGM02 (120×120 阶)
地球重力场低阶项长期变化	IERS conventions 2003
三体引力	JPL DE200 行星星历
地球固体潮	IERS conventions 2003
海潮	CSR3.0 海潮模型
相对论效应	IERS conventions 2003
大气密度模型	French Drag Model
表面力模型	Box-wing 模型
极潮	IERS Conventions 2003
海潮负荷	Merit model
参考框架	
惯性参考系	J2000.0
地固参考系	ITRF2008
岁差和章动模型	IAU 2000A
地球自转	IERS EOP 08 C04 (IAU200A)
数据	RINEX DORIS 3.0
对流层延迟	Hopfield 模型
电离层延迟	双频改正
DORIS 测站位置、速度	ITRF2008 IERS2003
潮汐改正 其他修正	质心偏差、天线安装位置偏差、天线相位中心偏差
估计参数	
HY-2 卫星初始状态	三维惯性系位置和速度
大气阻力系数	MOE 30 h/次 POE 24 h/次
九参数经验力模型	MOE 30 h/次 POE 24 h/次

4.1 SLR 检核轨道

由于卫星没有真实的轨迹, 对于星载 GPS/DORIS 定轨, 评估其定轨精度的重要手段就是利用高精度的激光测距数据对其定轨结果进行外部检验。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° 的激光数据对 HY-2 卫星轨道进行检验。

4.2 独立轨道比较

评估卫星轨道的另一重要手段是独立轨道比

较,独立轨道是指不同机构采用不同软件计算得到的两段独立轨道比较,同时也可指采用不同类型观测数据定轨得到的两段轨道之间的比较。因此具有独立性,并且这种验证方法能够检测系统误差和长期趋势。

DORIS/SLR定轨产品将分别与3种不同机构的定轨产品进行比较,这3种不同机构产品分别为GPS/SLR定轨产品、GPS/DORIS/SLR定轨产品和法国提供的DORIS定轨产品。

5 精密定轨结果

5.1 SLR数据统计分析

2012年5月,国内外共有17个激光站参与对HY-2卫星跟踪观测,获得2478个观测记录。图3为按SLR站给出的激光数据的统计。

从图3中可以看出,激光观测站数据不是很均衡,各观测站数据量差距比较大。

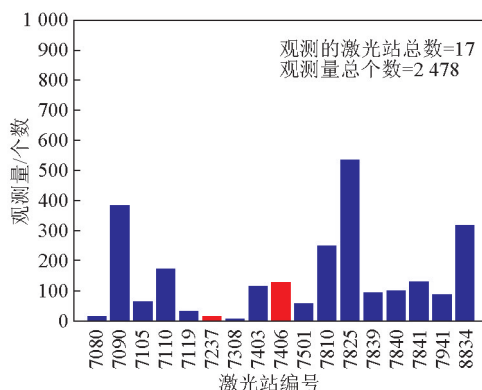


图3 SLR站对HY-2卫星的观测统计

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

5.2 SLR检核轨道

利用SLR对2012年5月的MOE产品进行检验,DORIS/SLR和法国DORIS定轨产品检核结果如图4和图5所示,同时表2也给出了两种产品的检核结果。

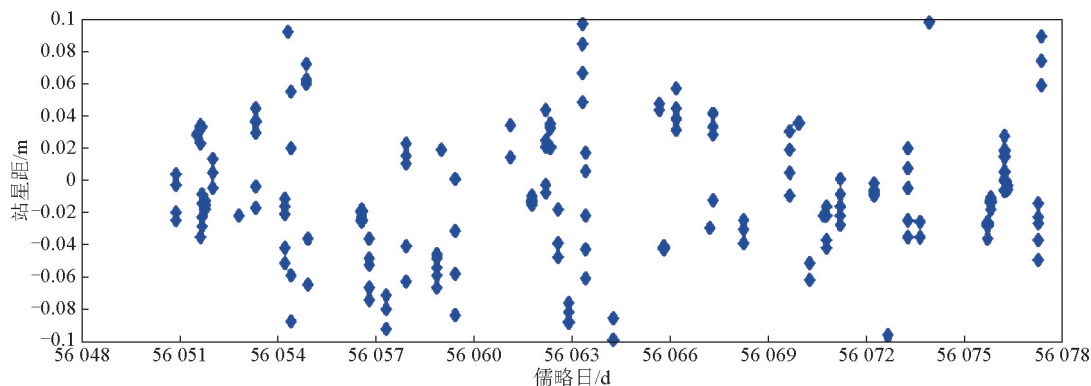


图4 DORIS/SLR定轨产品SLR检核结果(2012年5月MOE)

Fig. 4 The results of SLR validation for MOE of DORIS/SLR solution (May, 2012)

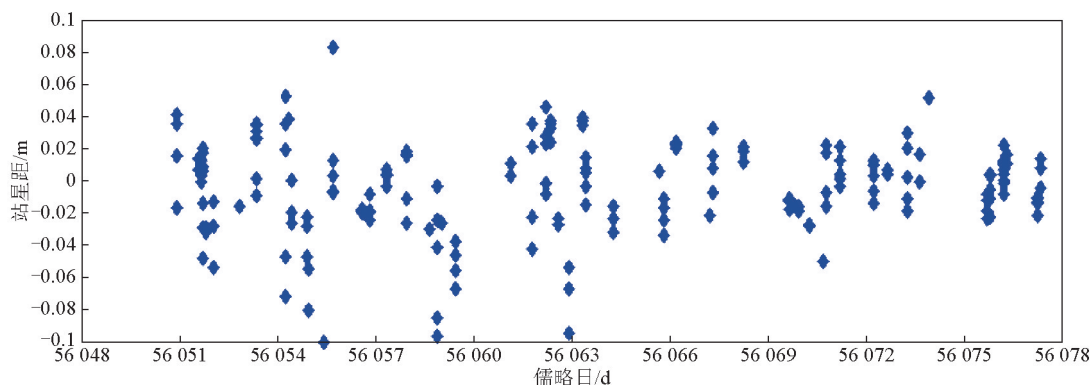


图5 法国CNES产品SLR检核结果(2012年5月MOE)

Fig. 5 The results of SLR validation for MOE of CNES (May, 2012)

表 2 SLR 检核结果

Table 2 The results of SLR validation

定轨策略	径向均方差/cm	均值/cm
DORIS(CNES)	2.94	-0.44
DORIS/SLR	4.40	-1.07

从 SLR 检核结果看, DORIS (CNES) 定轨和国内 DORIS/SLR 定轨的 MOE 精度分别为 2.94 cm 和 4.40 cm。发现 DORIS/SLR 检核结果均值(-1.07 cm) 比较大, 均值的存在使得激光检核结果受到很大影

响。SLR 检核精度另外一个影响因素是用于检核的 SLR 数据仰角的选取问题, 一般采用大于 70° 仰角, 这里考虑数据量, 采用的是大于 60° 仰角。

5.3 独立轨道比较

DORIS/SLR 定轨产品分别与法国 DORIS、GPS/SLR 和 GPS/DORIS/SLR 定轨产品径向比较, 比较结果分别如图 6、图 7 和图 8 所示。表 3 给出了独立轨道比较的径向均方差(RMS)。

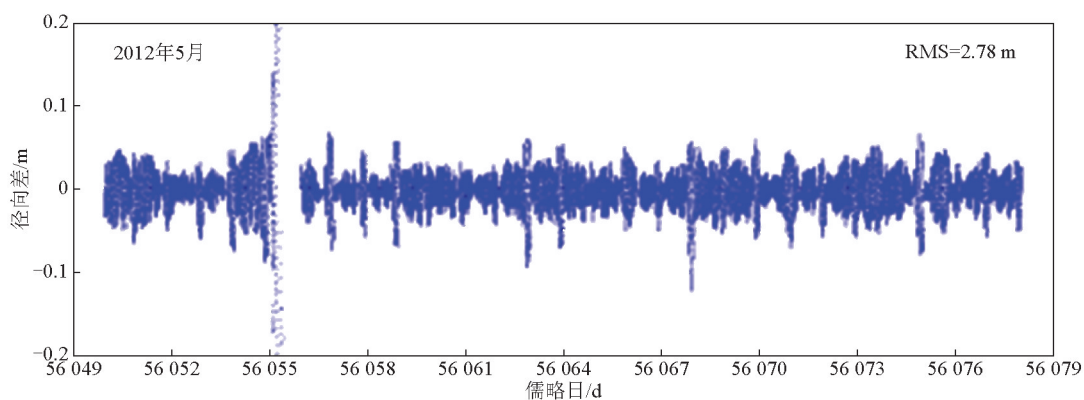


图 6 DORIS/SLR 定轨与法国定轨产品径向比较结果(2012年5月 MOE)

Fig. 6 The radial orbit comparison results between DORIS (CNES) and DORIS/SLR solution (May, 2012)

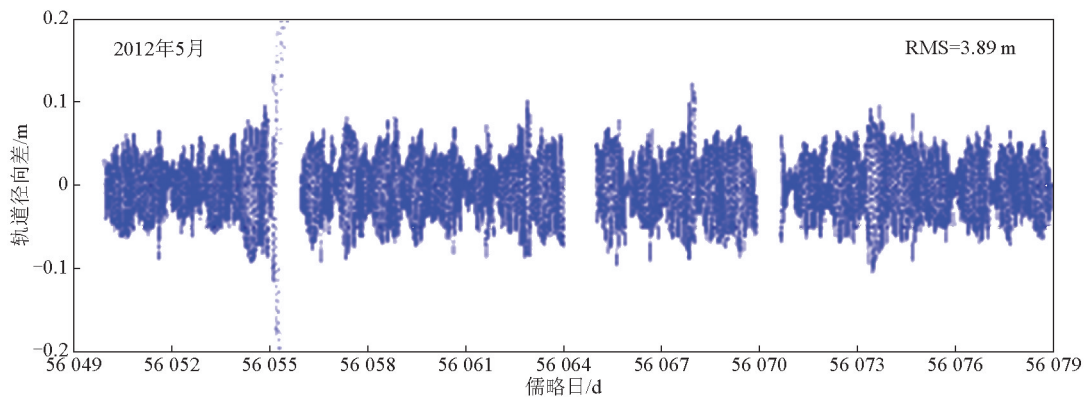


图 7 DORIS/SLR 定轨与 GPS/SLR 定轨产品径向比较结果(2012年5月 MOE)

Fig. 7 The radial orbit comparison results between DORIS/SLR and GPS/SLR solution (May, 2012)

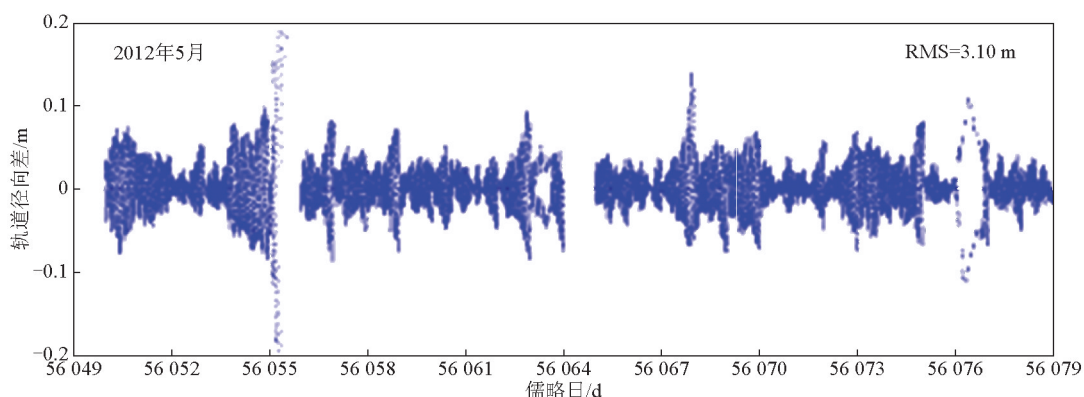


图8 DORIS/SLR定轨与GPS/DORIS/SLR定轨产品径向比较结果(2012年5月MOE)

Fig. 8 The radial orbit comparison results between DORIS/SLR and GPS/DORIS/SLR solution (May, 2012)

表3 MOE径向精度独立机构比较结果

Table 3 The comparison results for different solutions for the radial accuracy of MOE

定轨策略	DORIS (CNES)	GPS/ SLR	GPS/ DORIS/ SLR
径向均方差 (与DORIS/SLR比较)/cm	2.78	3.89	3.10

从比较结果看出, DORIS/SLR定轨与法国DORIS、GPS/SLR和GPS/DORIS/SLR定轨产品比较, 径向精度分别为2.78 cm、3.89 cm和3.10 cm。比较过程中异常值并没有剔除, 因此对比较结果有一定的影响, 虽然如此, 独立轨道比较结果显示DORIS/SLR定轨MOE径向精度优于4 cm。

6 结语

DORIS/SLR定轨技术作为HY-2卫星主要定轨技术之一, 通过SLR检核和独立轨道比较两种方法检验, 给出了对2012年5月MOE轨道径向精度检验结果。通过SLR检核, DORIS/SLR定轨手段MOE径向精度为4.40 cm; 通过与法国DORIS、GPS/SLR和GPS/DORIS/SLR三种独立轨道比较验证,

MOE径向精度优于4 cm。

从SLR检核残差结果发现, DORIS/SLR定轨产品残差中存在一定的偏差, 使得SLR检核精度受到一定的影响, 未来工作将对此进一步分析和研究。另外从轨道检验结果看, 应该剔除由于业务运行中各种原因而产生的异常数据, 从而使得检核结果更客观反映定轨产品质量。

参考文献

- [1] Kuijper D C, Ambrosius B A C, Wakker K F. SPOT-2 and TOPEX/Poseidon precise orbit determination from DORIS Doppler tracking[J]. Advances in Space Research, 1995, 6:45-50.
- [2] Tapley B D, Ries J C, Davis G W, et al. Precise orbit determination for TOPEX/Poseidon[J]. Journal of Geophysical Research, 1994, 99:24384-24404.
- [3] Cerri L, Berthias J P, Bertiger W, et al. Precision orbit determination standards for the Jason series of altimeter missions[J]. Marine Geodesy, 2010, 33(S1):379-418.
- [4] Cerri L, Berthias J P, Bertiger W I, et al. Precision orbit determination standards for the Jason series of altimeter missions [J]. marine geodesy, 2010, 33(S1):379-418.
- [5] Ablain M, Philipps S, Picot N, et al. Jason-2 global statistical assessment and cross-calibration with Jason-1[J]. Marine Geodesy, 2010, 33(S1):162-185.

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

Jiang Xingwei¹, Wang Xiaohui¹, Peng Hailong¹,
Zhong Min², Zhong Shiming²

(1. National Satellite Ocean Application Service, Beijing 100081, China; 2. Institute of Geodesy and Geophysics Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China)

[Abstract] The HY-2 satellite, launched on October 16, 2011 is the first dynamic environments satellite in China, carrying the DORIS tracking system which is one of main technology of precise orbit determination. The method and technological process of DORIS solution of HY-2 POD is introduced in detail, then the strategy of POD system is showed, finally the result of the MOE radial accuracy for DORIS solution of HY-2 satellite is given in this paper.

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