

2010年上海天文台卫星激光测距 观测报告

张忠萍, 陈菊平, 吴志波, 张海峰, 李朴

(中国科学院上海天文台, 上海 200030)

摘要: 介绍了2010年上海天文台卫星激光测距的常规观测和白天千赫兹激光测距情况。在国际上首次对同步轨道卫星开展了千赫兹激光测距, 作用距离达38800多千米, 测距系统性能达到国际先进水平。利用2套独立的激光测距系统, 开展了激光收发分离测距实验, 为行星际异步应答式激光测距模拟试验提供了实测数据。最后概述了空间碎片目标激光测距进展情况。

关键词: 卫星激光测距; 千赫兹白天测距; 同步轨道卫星; 空间碎片

中图分类号: P228.5

1 常规观测概况

上海天文台卫星激光测距系统经2009年升级改造后, 2010年度采用了千赫兹重复频率激光测距, 系统稳定性得到显著提高。共获得2990圈数据, 其中Lageos卫星396圈, 中高轨卫星468圈, 低轨卫星2126圈; 总观测点数为101085939点, 每圈平均点数33808点。相比低重复率激光测距, 测量数据点数提高了约2个数量级, 这是上海天文台卫星激光测距观测历史上获得圈数最多的一年。全年有效观测天数为173d, 比上一年减少了9d。表1、表2分别是2010年测距圈数、点数统计和逐月统计, 其中2月份激光器出现故障无法开展常规观测, 未获得测量数据, 4月份由于天气原因观测天数在有效观测月份中为最少。

本年度加入国际联测的卫星有QZS-1, TanDEM-X, Cryosat-2, PROBA-2^[1]。QZS-1是日本的准天顶卫星系统(QZSS)的首颗卫星, 卫星轨道高度为32000~40000km, 轨道倾角为45°, 携带36个角反射器。TanDEM-X卫星轨道高度为514km, 轨道倾角为98°, 装有4个角反射器, 它与之前发射的TerraSAR-X卫星组成首个太空SAR干涉仪, 任务是对整个地球陆地进行全景勘测, 以建立一个最精确的全球数字立体模型。欧空局极地冰层探测卫星CryoSat-2, 轨道倾角为92°, 轨道高度约720km, 由7个角锥棱镜组成的激光反射器阵列, 主要用于跟踪极地冰层和海洋浮冰的厚度及其他参数变化, 为研究全球气候变化提供重要数据。欧洲在轨自主计划的第二颗演示卫星Proba-2, 轨道高度约为757km, 轨道倾角为98.445°, 携带7块光学反射镜, 用于试验自主太空任务的最新技术。

收稿日期: 2011-06-22; 修回日期: 2011-07-05

资助项目: 国家自然科学基金(No.10903029); 上海市空间导航与定位技术重点实验室(06DZ22101)

表 1 2010 年上海天文台卫星激光测距观测统计表

卫星	圈数	点数	卫星	圈数	点数
Lageos-1	207	7 308 731	GLONASS-109	39	398 135
Lageos-2	189	5 699 106	GLONASS-120	40	744 175
AJISAI	340	16 522 905	JASON-1	157	4 555 384
ETALON-1	61	1 177 157	JASON-2	188	5 837 228
ETALON-2	45	1 235 304	GRACE-A	71	2 390 902
GIOVE-A	23	565 374	GRACE-B	75	1 048 619
GIOVE-B	31	689 723	ENVISAT	111	3 544 789
STARLETTE	258	10 661 088	Larets	114	2 863 957
STELLA	149	6 526 101	TerraSAR-X	32	589 899
ERS-2	124	4 389 313	COMPASSM1	40	980 128
BEACON-C	286	14 759 558	GOCE	13	329 990
GPS36	17	64 780	PROBA-2	17	469 051
CHAMP	6	123 214	BLITS	72	710 358
GLONASS-102	47	848 680	Cryosat-2	83	2 706 479
GLONASS-110	18	172 327	QZS-1	3	28 497
GLONASS-118	29	496 105	TanDEM-X	29	520 094
GLONASS-115	75	2 122 582	Anderrp	1	6 206
			总计:	2 990	101 085 939

表 2 2010 年卫星激光测距逐月统计表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	总计
天数	10	0	13	3	10	16	19	24	9	20	23	26	173
圈数	113	0	205	29	143	156	204	506	171	340	531	592	2990

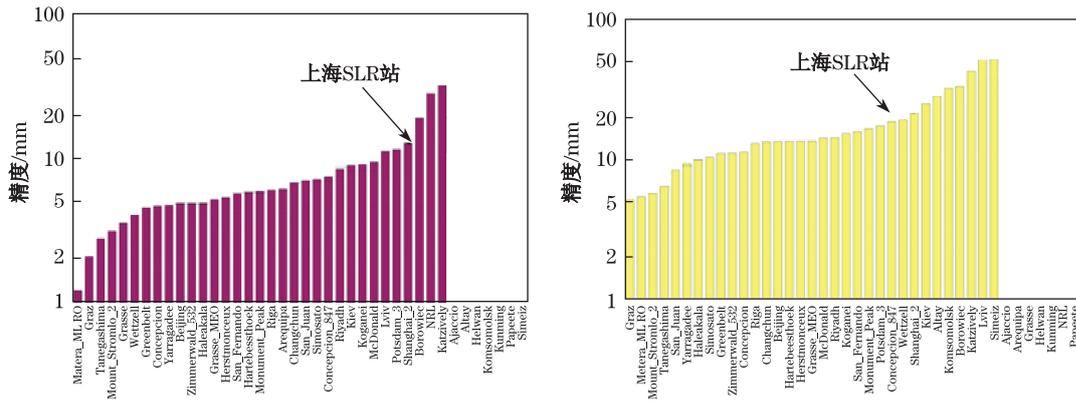
2 上海 SLR 站激光测距系统性能

2.1 标靶和 Lageos 卫星测量精度

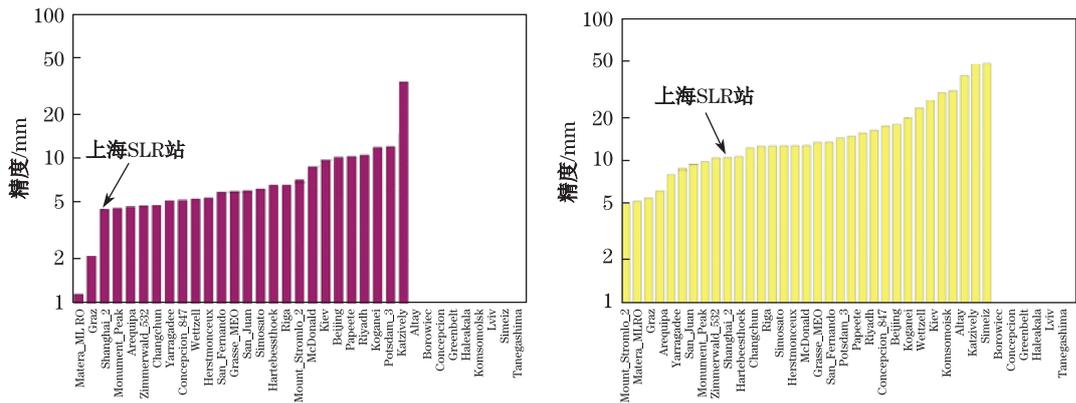
上海 SLR 站自 2009 年 10 月采用千赫兹激光器后, 实现了千赫兹重复频率常规测距。由于测距系统使用的激光器重复率为千赫兹, 且激光脉宽为皮秒量级, 这有利于降低激光反射器对激光信号的展宽效应, 再因为数据量的大大增加, 使得测距精度有了明显提高。图 1 给出了 2009 和 2010 年第三季度国际激光测距观测公报, 对全球各站的标靶和 Lageos 卫星测量精度的统计。由图可知, 采用千赫兹重复频率后, 上海天文台激光测距系统的标靶和 Lageos 卫星平均测量精度分别由 13 mm 和 18 mm 提高到 4.6 mm 和 11.2 mm, 其中标靶精度在此次统计中名列全球第三名^[2]。

2.2 同步轨道卫星激光测距

对同步轨道卫星 (GEO 卫星) 进行激光测距时, 由于距离远、目标暗、回波信号弱, 对激光器脉冲能量、望远镜跟踪指向精度等都提出了很高的要求。高轨卫星激光测距精度是国际激光测距中评定测距站技术水平的一个重要指标。2009 年上海天文台对激光测距望远镜



A. 低重复率地靶（左图）和Lageos卫星测量精度（右图）(2009.07.01~2009.09.30)



B. 千赫兹重复率地靶（左图）和Lageos卫星测量精度（右图）(2009.07.01~2010.09.30)

图 1 上海 SLR 站对标靶和 Lageos 卫星的测量精度

原有的伺服驱动器和编码器进行改造，采用了新型驱动器和高分辨率光栅编码，使跟踪精度有了明显提高 [3]。2010 年对伺服跟踪算法进行了改进，采用动态 PID 算法，可适应望远镜不同的转动速度，保证了望远镜跟踪的稳定性，这对高轨卫星的精密跟踪有重要作用。图 2 为 2010 年 8 月 14 日对 GEO 卫星测量的结果图，卫星距离为 38 800 多千米。这是国际上首次采用皮秒千赫兹重复率激光器进行同步轨道卫星测量，单次测量精度为 12 mm，每分钟平均回波点数为 540 点，而低重复率激光测距对高轨卫星的测量精度一般为 30~40 mm，每分钟回波数为几十到上百点，这充分体现了采用千赫兹重复频率激光测距对高轨卫星测量的优势。

2.3 白天千赫兹激光测距

上海天文台在 1992 年第一次实现对 8000 km 的 Lageos 卫星白天测距，但整个测距系统不够稳定，测距成功率不高。测距系统通过数年的技术改造，直到 1997 年，实现了比较稳定的白天低重复率激光测距，测到了大量的白天测距数据。2009 年 10 月实现了千赫兹重复率激光测距夜间常规观测 [3,4]，并在此基础上对较为先进的白天千赫兹测距技术进行

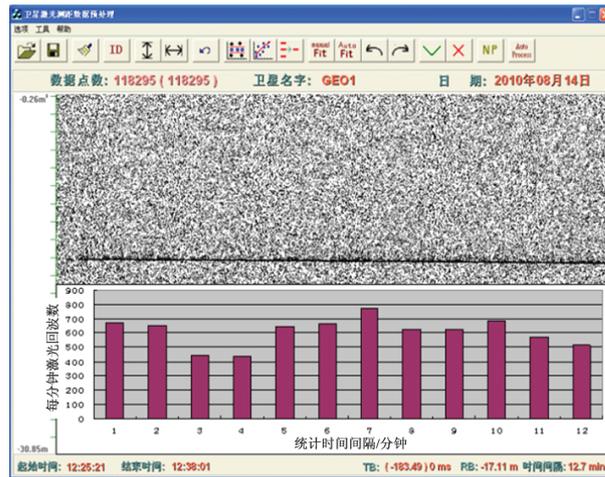


图 2 GEO 卫星千赫兹激光测距及每分钟回波数统计

了研究：采用 0.15 nm 带宽的背景光滤波器，精密调试激光发射和接收系统，测量望远镜照准差，应用回波信号实时识别技术 [5]，于 2010 年 8 月成功实现低轨卫星白天千赫兹重复率测量，成为当时国际上为数不多的具备白天千赫兹重复频率测距的台站之一。图 3 给出 Ajisai、Larets、Stella、Cryosats 4 颗低轨卫星白天千赫兹重复率激光测量结果，测量时间分别为上午、中午和下午。其中 Ajisai 卫星位置与太阳较为接近，噪声较大，同时 Ajisai 卫星反射器较大，回波信号较其它卫星要强很多。

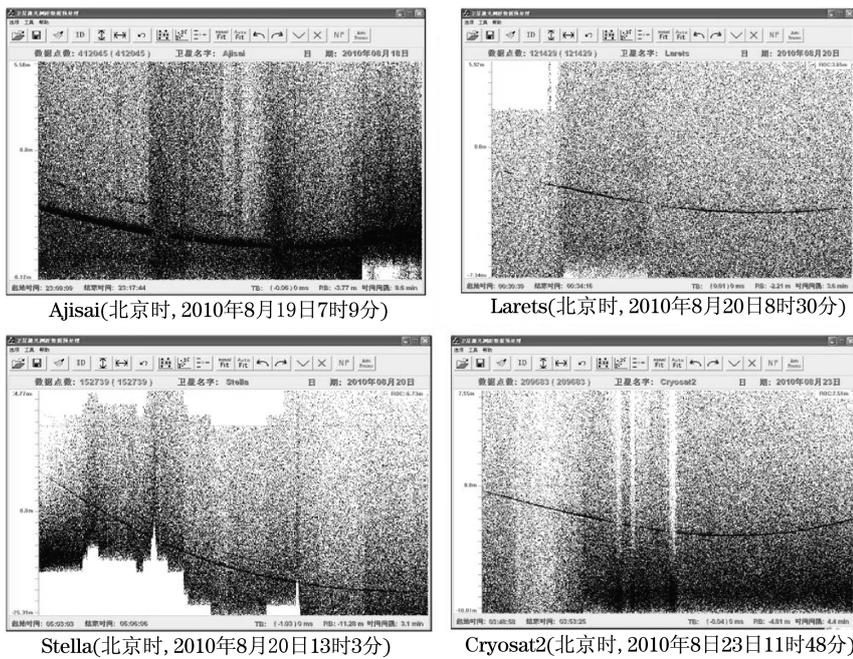


图 3 白天千赫兹激光测距结果

2.4 收发分离激光测距实验

在国家重大科技基础设施陆态网改造项目中,上海天文台承担了西安 SLR 站口径 35 cm 测距系统的升级改造工作,为便于系统调试,该站测距望远镜被放置在离上海 SLR 站不远的固定点,2 站直线距离约为 70 m。通过对该测距系统的改造,成功实现了对卫星的测量,最远测量距离达 2 万多千米,测距系统性能达到预定指标。

利用这 2 个独立测距系统相邻并置的机会,我们开展了上海 60 cm 口径测距仪发射激光,西安 35 cm 口径测距仪接收卫星回波的收发分离测距实验,以模拟行星际激光测距中激光单向传输的过程。对 Ajisai、Lageos、CompassM1 等卫星进行的实验表明,西安 SLR 站均接收到有效回波信号,验证了激光收发分离测距的可行性,为行星际异步应答式激光测距模拟试验提供了实验数据。图 4 为 Lageos 卫星激光收发分离实验测量结果。由于 2 测距站激光脉冲抖动量不同,当西安 SLR 测距系统收到激光回波信号与该站激光主波信号配对后,所得到的距离值包含了 2 站激光脉冲抖动量的差值,故距离残差较大,如图 4 左图上的弥散带所示。通过对测量数据进一步处理,正确配对出西安 SLR 测距系统接收到的回波时刻与上海 SLR 站发射的主波时刻,此时所获得的距离残差大大减小,如图 4 右图上的密集线所示。该测量实验的成功为今后并置激光测量、行星际单向激光测距等科学研究打下了基础。

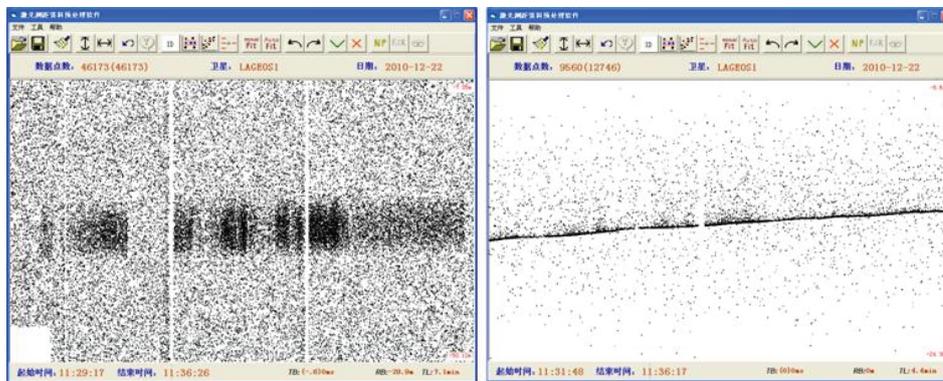


图 4 激光收发分离激光测距实验测量结果

3 空间碎片激光测距

空间碎片是指遗留太空中的废弃卫星或航天器的残骸。在对空间碎片测距关键技术初步研究的基础上,上海 SLR 站于 2008 年 7 月采用 40 W 高功率激光器在国内首次实现了空间碎片目标的激光测距实验,测量距离大于 900 km,测距精度为 60 cm。2010 年上海天文台获得中国科学院装备建设项目的支持,继续开展空间碎片激光测距技术研究,采用了稳定性强、光束质量高、输出功率 10 W 的激光器,成功地对多颗空间碎片目标进行了测距,测量结果如图 5 所示,测量的目标分别为废弃的铱星、美国火箭残骸和前苏联火箭残骸,测量精度为 50~80 cm,最远距离为 1200 km。由于测距系统的改进,比如激光器的稳定性提高、望远镜跟踪精度提高、距离门的精确控制,使得测量成功率相比 2008 年已有很大的提高。

为进一步提高空间碎片激光测距的成功率,我们正在开展研究影响空间碎片激光探测能

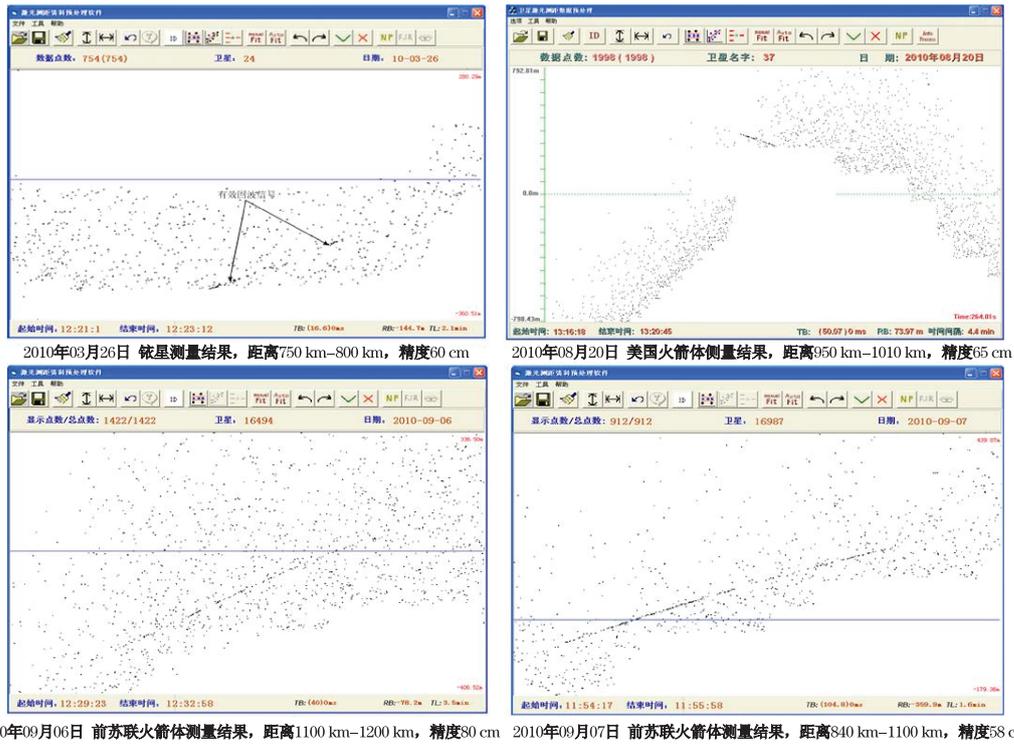


图 5 空间碎片激光测距结果

力的因素及解决方法, 以使上海天文台空间碎片激光测距水平得到显著提升, 为空间碎片测量提供高精度观测数据。

参考文献:

- [1] http://ilrs.gsfc.nasa.gov/satellite_missions/list_of_satellites/index.html
- [2] Carey Noll. SLR Global Performance Report Card, http://ilrs.gsfc.nasa.gov/stations/site_info/global_report_cards/perf.2010q3-wLLR.html
- [3] 张忠萍, 陈菊平, 吴志波等. 中国科学院上海天文台年刊, 2010, (31): 23
- [4] 张忠萍, 张海峰, 吴志波等. 科学通报, 2011, 56(15): 1177
- [5] 秦思, 张忠萍, 张海峰等. 中国科学院上海天文台年刊, 2008, (29): 65

Report on Satellite Laser Ranging Observations at Shanghai Astronomical Observatory 2010

ZHANG Zhong-ping, CHEN Ju-ping, WU Zhi-bo, ZHANG Hai-feng, LI Pu
 (Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030)

Abstract: The paper is a report on satellite laser ranging observations at Shanghai As-

tronomical Observatory in 2010. The daylight tracking to satellites with kHz laser ranging system is also presented. And Shanghai SLR system becomes the first one in ILRS stations to range to GEO satellite with kHz repetition rate laser at the distance of more than 38800 km. By adopting two laser ranging systems at the distances of about 70m away from each other, the experiment of laser transmitting at one system and receiving at the other system is successfully implemented and the experimental data could be used to research on one-way transmit of laser signals for the transponder laser ranging experiment. Finally the progress of laser ranging to space debris is presented.

Key words: satellite laser ranging; daylight track for kHz repetition; GEO satellite; space debris laser ranging