

2011 年上海天文台卫星激光测距 观测报告

吴志波, 张海峰, 李朴, 陈菊平, 张忠萍

(中国科学院 上海天文台, 上海 200030)

摘要: 介绍了 2011 年上海天文台卫星激光测距系统的常规观测情况。本年度对激光测距接收终端系统进行了改造, 提高了激光接收效率并满足了测距系统观测试验需求。开展了提高大能量激光器输出功率等空间碎片测距系统改造工作, 使目标圈次测量成功率达 50%, 为该测量技术进一步发展打下了基础。

关键词: 卫星激光测距; 常规观测; 系统改造; 空间碎片测量; 观测报告

中图分类号: P228.5

1 常规观测概况

2011 年度上海天文台卫星激光测距有观测数据天数为 191 d, 较上一年多了 18 d, 但由于大气透明度总体较差及测量实验较多, 因此总观测数据量略有下降, 全年共获得 2539 圈, 总观测点数为 58 092 944 点。表 1、表 2 分别是 2011 年测距圈数、点数统计和逐月统计, 从表 2 可以看出, 6 月份由于处于江南特有的梅雨季节观测天数较少, 冬季几月则观测天数一般较多。

本年度新加入联测的国内卫星是“海洋二号”(HY2a)。该卫星是中国发射的首颗海洋动力环境观测卫星, 轨道高度为 971 km, 轨道倾角为 99.35°, 太阳同步轨道, 携带由 9 块角锥棱镜组成的激光反射器阵列, 主要用于探测海面风场、稳定场、海面高度、浪场、流场等, 以获取全球海洋风矢量场和表面风应力数据及全球高分辨率大洋环流、海洋大地水准面、重力场和极地冰盖数据, 以及完成星地激光通讯链路新技术试验验证。伽利略定位系统 (Galileo Positioning System) 为欧盟主导的全球卫星导航系统, 由 27 颗工作卫星及 3 颗候补卫星组成, 本年度编号为 101 和 102 的 GALILEO 卫星加入常规观测, 其轨道高度 23 220 km, 轨道倾角为 56°, 装有 84 个角反射器。另外, 俄罗斯空间局管理的全球导航卫星系统 GLONASS (Global Navigation Satellite System) 中的编号为 114、115、116、119、125 的卫星也成为本年度观测目标^[1]。

收稿日期: 2012-06-12; 修回日期: 2012-07-23

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 2011 年上海天文台卫星激光测距观测统计表

卫星	圈数	点数	弧段/min	精度/cm
Lageos-1	163	1 568 444	12.45	1.19
Lageos-2	121	1 200 282	12.98	1.18
Ajisai	288	13 243 714	4.29	2.69
Etalon-1	41	232 974	37.04	3.75
Etalon-2	45	179 085	34.72	3.71
Giove-A	12	30 619	45.97	2.42
Giove-B	23	96 707	41.87	2.16
STARLETTE	200	6 323 856	3.06	1.13
STELLA	144	5 413 217	2.95	1.14
ERS-2	40	898 137	2.4	1.11
BEACON-C	309	14 964 246	3.68	2.15
GPS35	1	762	53.57	2.88
GPS36	14	15 961	39.05	2.21
GLONASS-110	46	96 342	32.89	2.45
GLONASS-102	54	202 734	29.57	2.37
GLONASS-114*	5	10 959	35.8	2.37
GLONASS-115*	58	376 668	35.04	2.3
GLONASS-116*	3	5383	42.06	2.76
GLONASS-118	37	284 317	33.6	2.44
GLONASS-119*	39	168 888	35.8	2.56
GLONASS-120	50	167 233	32.94	2.5
GLONASS-125*	30	84 854	34.15	2.73
GALILEO-101*	3	11 866	17.32	1.45
GALILEO-102*	4	6327	25.27	2.19
JASON-1	113	1 860 204	3.74	1.3
JASON-2	132	2 244 085	3.61	1.32
GRACE-A	66	1 471 049	1.59	1.22
GRACE-B	70	840 152	1.01	1.19
ENVISAT	86	2 270 176	2.65	1.11
Larets	82	1 353 521	2.41	1.1
TerraSAR-X	13	193 063	1.27	1.24
COMPASS-M1	44	184 886	41.61	2.03
GOCE	5	16 619	0.96	1.26
PROBA-2	15	82 326	1.88	1.32
BLITS	64	334 895	2.1	1.35
Cryosat-2	56	959 147	2.58	1.11
QZS-1	24	43 190	47.56	2.11
TanDEM-X	16	172 845	1.3	1.32
Hy2a*	23	483 211	3.42	1.37
总计	2539	58 092 944		

注: 标 * 卫星为本年度加入国际联测的星。

表 2 2011 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/d	20	11	18	16	20	6	14	13	20	15	17	21	191
圈数	326	116	242	153	369	52	132	101	249	251	228	320	2539

2 观测系统改造

上海天文台卫星激光测距系统中的接收终端系统已使用多年,接收效率不高且设备调节空间有限,无法满足系统进一步升级改造及开展空间非合作目标激光测距、行星际激光测距模拟试验等各种测量试验的应用需求。为此,本年度对望远镜接收终端系统进行了改造,重新设计加工了接收终端,与之对应的接收光路也进行了调整。图 1 为望远镜接收光路改造前后示意图,其中重新设计了 45° 反光镜,将设计复杂的弯月形分光镜替换,使望远镜汇聚光转向外侧面,这样便于对望远镜接收到的空间目标光信号的后端处理,方便增加处理设备和仪器,扩展光学接收终端系统的灵活性。

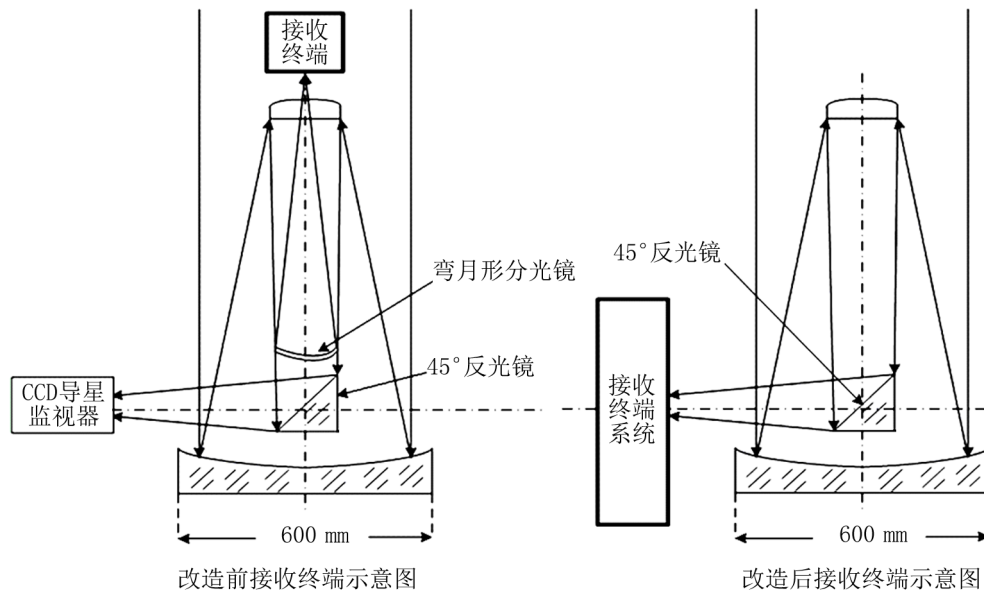


图 1 改造前后接收光路及接收终端箱位置变化示意图

图 2 为重新设计加工的接收终端示意图,主副镜汇聚的光信号首先入射到接收终端中的第一块 45° 光学镜,此光学镜设计为对 532 nm 波长激光 95% 反射、5% 透射,其余光全透射。这也是直接影响着激光回波接收探测能力的部件。反射的激光信号经过电动可变光阑孔、准直镜、窄带滤光器,到达光子探测器,实现激光回波信号的探测。其中可变光阑孔装置用于实现空间滤波;窄带滤光器用于实现光谱滤波,以降低白天激光测距时背景噪声对光子探测器的干扰。透射的光信号达到接收终端中第二块 45° 光学镜,此光学镜与第一块相同,对 532 nm 波长激光的透过率为 5%,其余可见光全透。透射的其他波段可见光入射到 1 号

CCD(charge-coupled device) 上, 用于目标导星; 反射的 95% 的 532 nm 波长光入射到 2 号 CCD 上, 用于激光束指向监视。本接收终端系统实现了目标星像与激光束分离, 减少激光束对目标星像中心计算的影响, 可用于实现空间目标的闭环跟踪, 这对于预报偏差大的空间碎片目标跟踪十分有利。

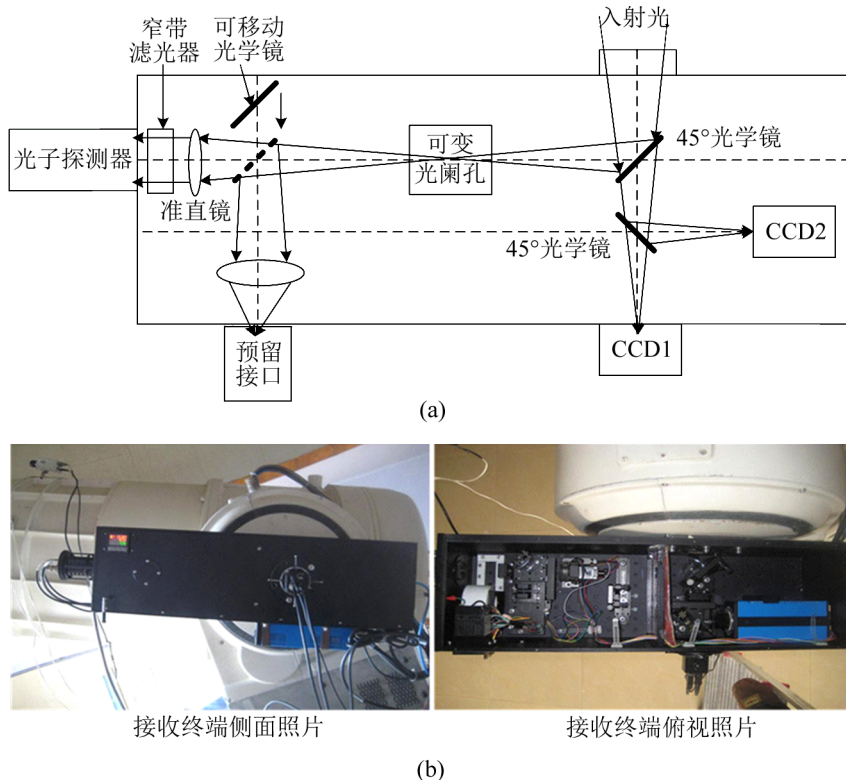


图 2 接收终端光学系统及实物图
(a) 接收终端系统示意图; (b) 接收终端系统实物图。

在 2010 年度的白天激光测距中, 限于原接收终端系统的空间, 无法使用白天激光监视 CCD, 故采用盲测方法开展了白天激光测距, 测量效率较低。为此, 实现白天千赫兹重复率激光束的监视, 是本次接收终端改造的目的之一。文献 [2] 中介绍了在低重复率激光测距情况下实现的一种白天激光束监视方法, 然而该方法不能满足单脉冲能量弱的千赫兹重复率激光束的白天监视要求。为保证激光束准确指向空间目标, 有必要采取另外一种方法实现千赫兹重复率激光束的监视。在上述接收终端光学系统中, CCD2 就是用于实现白天激光束的监视设备, 采用了可外控、曝光时间在微秒级、具备图像叠加功能的 CCD 监视器。外控功能可实现 CCD 曝光快门与激光发射指令的同步, 短曝光时间可提高激光束与背景光的对比度, 图像叠加功能是通过多幅图像叠加来增加微弱能量激光束的强度, 这是区别于低重复率激光束白天监视的最大不同点。通过采用上述方法, 实现了千赫兹重复率激光束白天监视, 这在白天激光测距中起到了关键作用^[3,4]。图 3 为白天背景光下对千赫兹重复率激光束的监视效果, 图中尖状的高亮度图像为激光束, 其余为背景杂散光。图中 CCD 所设置的曝光时间为

40 μs 、图像叠加次数为 2500 次。在强背景光的天空区域，为避免 CCD 饱和，需缩短曝光时间和减少图像叠加次数。



图 3 千赫兹重复率激光束的白天监视效果

卫星激光测距中所使用的光子探测器往往存在光子探测最为敏感区域。因此，需首先确定出光子探测器的灵敏区域，然后再将目标星像和激光束调整到该灵敏区域，便于激光回波信号的接收探测，开展激光测距。光子探测器灵敏区确定方法通常是：用望远镜跟踪恒星，由图 (2) 中的 CCD1 对恒星成像，由时间间隔计时器记录激光同步信号与接收到的背景光的时间间隔，通过调整望远镜指向，使恒星在 CCD1 上移动，寻找出时间间隔计时器记录值最小且稳定时该恒星在 CCD1 上的位置区域，此区域即为光子探测器的灵敏区。白天激光测距中，同样需要确定出光子探测器灵敏区域在 CCD2 上的位置。确定的方法是在夜间 CCD1 和 CCD2 对同一颗恒星成像，并将恒星调整到 CCD1 上的光子探测器灵敏区，此时记录下恒星在 CCD2 上的位置，此位置即为光子探测器在 CCD2 上的灵敏区。必要时适当调整 CCD2 接收光路中光学镜，以达到两 CCD 中心的重合。由于本系统中所采用的 CCD2 探测星等弱于 CCD1，故在上述方法中需跟踪高亮度的恒星。在确定出光子探测器在 CCD2 上的灵敏位置后，根据 CCD2 上所呈现的激光束指向，通过激光束二维调整机构，将激光光尖移动到 CCD2 上指定的位置，再通过调整望远镜指向进行目标搜索，实施白天激光测距。实践证明，上述方法在上海天文台白天激光测距中起到了重要作用。

考虑到今后测距系统将开展其他方面的测量试验，该接收终端系统还增加了预留接口，用于安装其他测量设备，比如 APD (avalanche photo diode) 光子探测器、CCD 监视器等。跟原来的接收终端系统相比，新设计的接收终端大大提高了测距系统的使用效率，具有很大的扩展性，便于开展各种科学实验^[5]。

3 空间碎片激光测距进展情况

空间碎片运行轨道的高精度测定是实现空间碎片目标精确监测预警的基础，已成为当今航天活动中一项重要的工作内容，是航天器安全的重要保障。激光测距技术是空间目标轨道

测定精度最高的一种, 应用该技术, 可有效提高空间目标轨道预报精度和航天器机动规避成功率, 减少航天器机动次数, 这对降低航天器动力消耗和延长航天器寿命有重要意义。

2010 年上海天文台通过对初步建立的空间碎片测距系统的完善, 使用高光束质量的 10 W 功率激光器等, 开展非合作空间目标测距, 实现了距离 1200 km、RCS (Radar Cross Section) 2.33 m^2 空间目标测量, 测量成功率大于 20%^[6]。

为进一步提升上海天文台空间碎片激光测距系统的探测能力, 2011 年度继续开展了该测距技术研究, 升级改造 10 W 功率激光器, 输出功率增加到 30 W 以上; 重新设计了具有高损伤阈值的光学镜, 满足了高功率激光器对发射系统的抗损伤性要求; 应用新设计加工的接收终端系统, 实现空间碎片目标闭环跟踪, 提高了目标跟踪的稳定性。通过开展上述工作, 上海天文台空间碎片激光测距系统的探测能力有了明显提升。

图 4 为 10 W 功率激光器、激光放大器及其大能量激光束效果图。图 5 为利用改造后的大能量激光器开展的空间碎片激光测距实时测量及其数据预处理情况, 图中中间密集点为有效回波信号, 其他点为噪声, 图中所测量的目标代号为 16 612, RCS 为 4.14 m^2 , 距离 1500 多千米。



图 4 10 W 功率激光器、激光放大器及大能量激光束效果图

2011 年 9 月 14 日至 12 月 24 日, 上海天文台利用升级改造后的测距系统成功获得了 28 圈次碎片目标激光数据, 最长观测弧长为 5 min, 占有有效观测时段的 80%, 最远测量距离达 1800 km, 最小目标 RCS 为 3.4 m^2 , 最多观测点数为 494 点, 激光回波率大于 30%。其中一天最多观测了 8 颗碎片目标, 如表 3 所示, 圈次测量成功率达 50%, 碎片测量能力得到很大提高。上海天文台空间碎片激光测距技术已达到国内领先水平, 所建立的空间碎片激光测距系统及观测成果已申报 2012 年上海市科技进步奖。

在已开展的测量实验基础上, 上海天文台还将继续深入开展空间碎片激光测距技术研究, 进一步提高测量系统的性能, 促使该测量技术向型号装备方向发展, 为我国空间目标的精密定位、轨道复核、其他测量技术的外部标校等提供高精度测量技术手段, 以期在国防和军事等领域发挥重要作用。

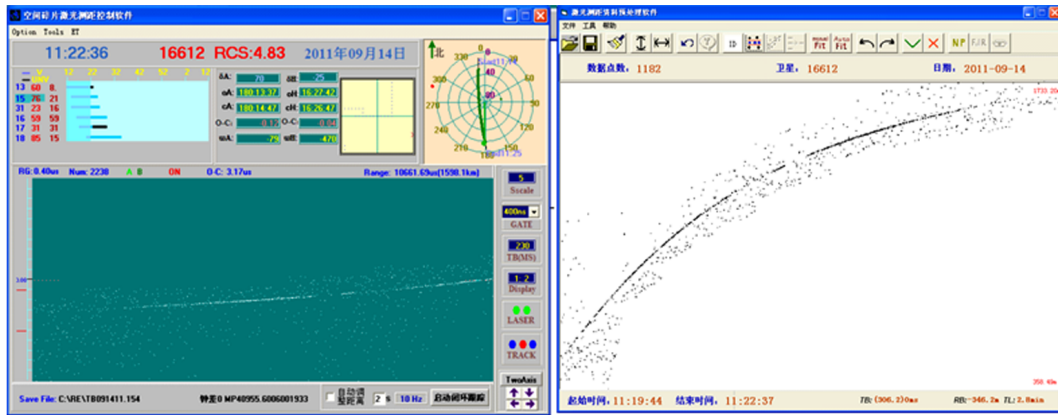


图5 空间碎片激光测距实时测量和数据预处理界面

表3 空间碎片激光观测部分结果统计

序号	日期	目标 类型	开始时间 (UTC)	测量 弧段 /min	目标 RCS /m ²	目标距离 /km	目标尺寸*		点数
							底部直径 /m	长度 /m	
1	09月15日	Rocket	10:59:18	4.50	10.0	986 ~ 1393	10.4	3.9	481
2	09月15日	Rocket	11:34:34	1.15	4.64	852 ~ 1239	2.6	2.2	85
3	09月15日	Rocket	11:49:38	1.77	7.06	900 ~ 847	5.9	2.4	227
4	09月15日	Iridium	12:11:25	0.83	6.24	840 ~ 928	4.0	1.8	25
5	09月15日	Rocket	20:07:50	2.77	6.66	1159 ~ 891	6.0	2.4	160
6	09月15日	Rocket	20:29:22	1.17	14.17	1106 ~ 1104	9.9	2.6	44
7	09月15日	Rocket	19:57:28	2.25	12.26	770 ~ 1058	10.4	3.9	243
8	09月15日	Iridium	20:14:27	0.68	4.58	1324 ~ 1465	4.0	1.8	47

* 注: 假定目标为圆柱体。

参考文献:

- [1] http://ilrs.gsfc.nasa.gov/satellite_missions/list_of_satellites/index.html
- [2] 王斌, 张忠萍, 杨福民, 等. 中国科学院上海天文台年刊, 2004 (25): 63
- [3] 张忠萍, 张海峰, 吴志波, 等. 科学通报, 2011,56(15): 1177
- [4] 张忠萍, 张海峰, 高皓, 等. 测绘科学, 2011,36(03): 172
- [5] 张海峰, 张忠萍, 吴志波, 等. 测绘科学, 2011,36(专刊): 235
- [6] 张忠萍, 陈菊平, 吴志波, 等. 中国科学院上海天文台年刊, 2011 (32): 18

Report on Satellite Laser Ranging Observations at Shanghai Astronomical Observatory 2011

WU Zhi-Bo, ZHANG Hai-feng, LI Pu, CHEN Ju-ping, ZHANG Zhong-ping

(Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China)

Abstract: This paper is a report on satellite laser ranging observations at Shanghai Observatory in 2011. The telescope receiving terminal system has been modified for increasing the receiving ability of laser signal and meeting the need for measuring experiments. The updating works for space debris laser ranging system have been also implemented, such as increasing the power of laser. The success rate of passes of targets measured is up to 50% and that lays the foundation of further studying the technology of space debris laser ranging.

Key words: satellite laser ranging; routine observations; system improvement; space debris measurement; observation report