

2014 年长春站卫星激光测距观测报告

摘要：简要介绍了 2014 年长春站卫星激光测距（SLR）的总体观测情况及取得的观测成绩，对高轨卫星及本年度新增添卫星的观测情况进行了统计，并分析了环境条件变化情况，针对长春站 SLR 近十年的观测情况进行了比较分析。长春站在增加数据观测量的前提下，不断改进系统的稳定性。并开展了空间碎片激光测距的研究工作，获得了有效的观测数据结果，拓展了卫星激光测距技术的研究领域。

关键词：卫星激光测距，常规观测，系统改造，空间碎片

一、常规观测概况

2014 年，经过长春站卫星激光测距研究室全体成员对测距系统的升级与维护，长春 SLR 系统测距能力稳步提升，再次取得优异的成绩，并创多个历史新高。在国际激光测距服务组织数据中心公布的（2014.1.1-2014.12.31）全球观测数据统计排名中，长春站依然位居世界第二位。

1.1 2014 年 SLR 总体观测情况

2014 年，长春 SLR 共获得观测数据总量达到 19308 圈，超过历史年观测数据量，有效观测数据点数超过 3.9 亿；白天观测数据总量达到 6852 圈，单月观测数据最多超过 2566 圈，单月白天观测数据最多达到 1010 圈，单日观测数据最多达到 134 圈，均创下历史观测的最好成绩。表 1.1.1 为 2013 年长春站全年 SLR 观测数据统计表。

表 1.1.1. 2014 年长春站 SLR 数据圈数统计表

月份	观测数量		
	白天圈数	夜间圈数	总圈数
1	577	1811	2388
2	647	1222	1869
3	710	1074	1784
4	811	1011	1822
5	338	241	579

6	432	433	865
7	234	632	866
8	331	816	1147
9	1010	1070	2080
10	555	1209	1764
11	858	1708	2566
12	349	1229	1578
总计	6852	12456	19308

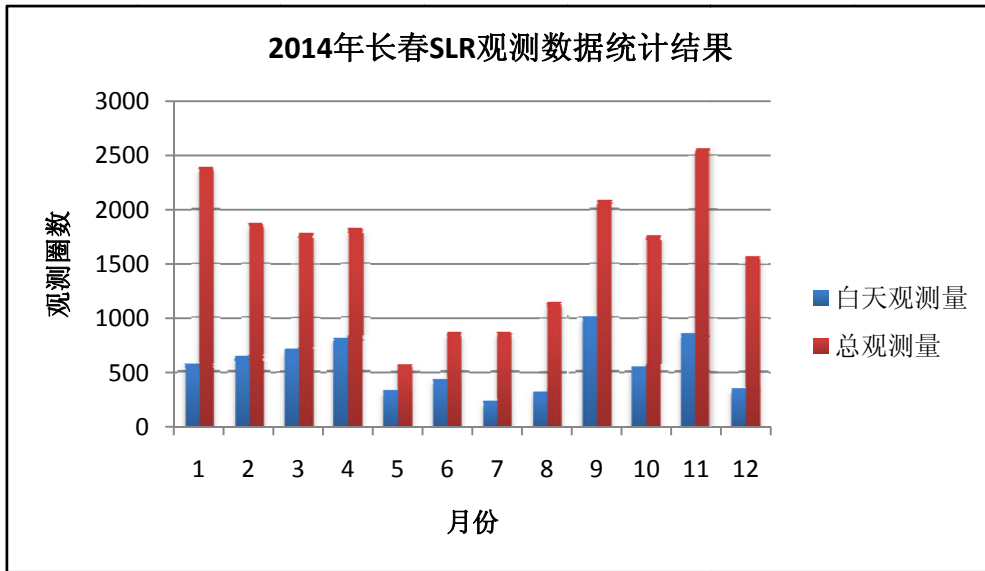


图 1.1.1 2014 年长春 SLR 观测数据统计结果

相较于 2013 年，2014 年无论是在总的观测量上，还是在白天的观测上，观测数据数量都有明显的提高。

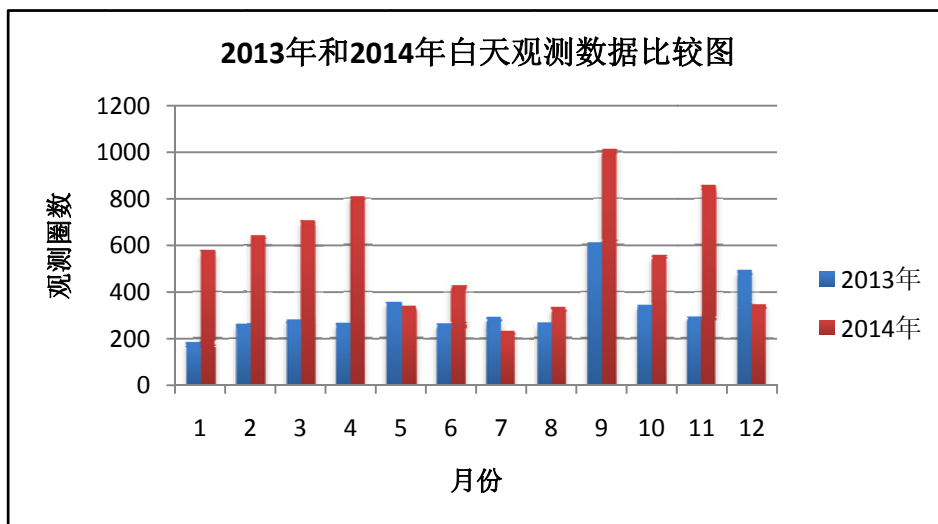


图 1.1.2 2013 年和 2014 年白天观测数据比较图

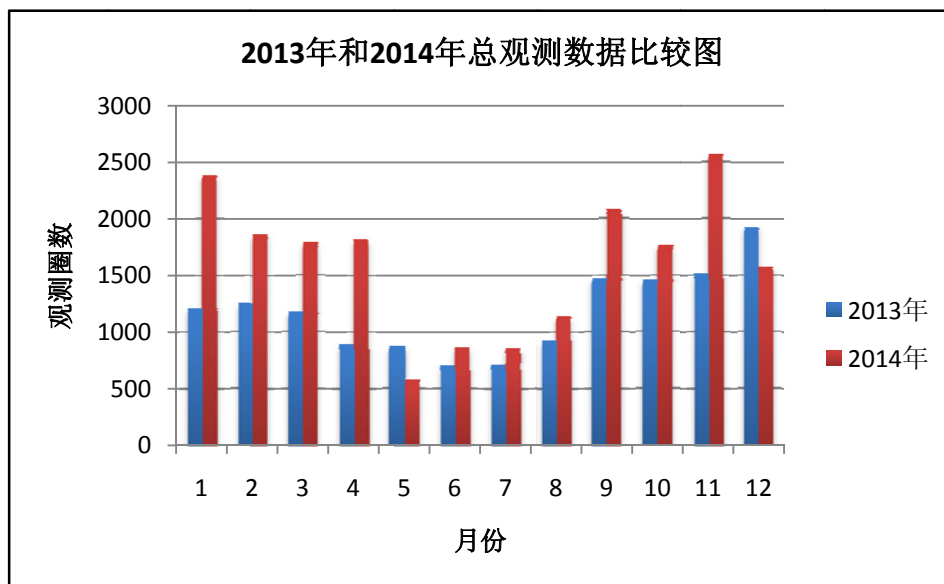


图 1.1.3 2013 年和 2014 年总观测数据比较图

1.2 观测目标情况

2014 年，长春站 SLR 共观测国际联测卫星目标数为 69 颗，并获得了全部卫星的有效观测数据，其中包括低轨道卫星 22 颗，2 颗地球动力学卫星 LAGEOS-1 和 LAGEOS-2，高轨道卫星 45 颗，其中包括中国的北斗导航系列卫星、美国的 GPS 导航卫星、欧洲伽利略导航卫星、俄罗斯的 GLONASS 导航系列卫星、日本的 QZSS 导航系列卫星及印度的 IRNSS 导航系统卫星。

表 1.2.1 2014 年长春站观测目标列表

序号	卫星名称	轨道高度

1	Beacon-C	LEO（低轨卫星） 轨道高度 1500km 以下
2	Starlette	
3	Ajisai	
4	Stella	
5	Grace-A	
6	Grace-B	
7	Envisat	
8	LARETS	
9	Terrasar-x	
10	Jason-2	
11	Cryosat-2	
12	Tandem-x	
13	HY2A	
14	ZY3	
15	LARES	
16	SARAL	
17	STSAT2C	
18	Kompsat5	
19	Swarm-A	
20	Swarm-B	
21	Swarm-C	
22	SpinSat	
23	Lageos-1	6000km 左右
24	Lageos-2	
25	Etalon-1	19100km 左右
26	Etalon-2	
27	Glonass-100	19140km
28	Glonass-101	
29	Glonass-102	
30	Glonass-103	

31	Glonass-105		
32	Glonass-106		
33	Glonass-107		
34	Glonass-109		
35	Glonass-110		
36	Glonass-111		
37	Glonass-116		
38	Glonass-117		
39	Glonass-118		
40	Glonass-119		
41	Glonass-120		
42	Glonass-121		
43	Glonass-122		
44	Glonass-123		
45	Glonass-124		
46	Glonass-125		
47	Glonass-126		
48	Glonass-127		
49	Glonass-128		
50	Glonass-129		
51	Glonass-130		
52	Glonass-131		
53	Glonass-132		
54	Glonass-133		
55	Gps36		20030km
56	GIOVE-A		23916km
57	Galileo-101		23220km
58	Galileo-102		
59	Galileo-103		
60	Galileo-104		

61	Galileo-201	
62	Compass-G1	21528km42164km
63	Compass-I3	
64	Compass-I5	
65	Compass-M3	
66	QZS-1	
67	IRNSS-1A	42164km
68	IRNSS-1B	
69	IRNSS-C	

1.3 高轨卫星观测情况

针对白天测距的特点，采用有效的方法，提高白天望远镜的指向稳定性，提高了白天测距系统的探测能力。2014 年在高轨卫星的观测上有明显的突破，观测量达到 8685 圈，特别是白天观测远地卫星的能力明显提高，达到 2211 圈。并实现了白天对地球同步轨道卫星（Compass-G1）的有效跟踪和观测，全年在白天观测中共获得 17 圈 Compass-G1 的有效观测数据。

表 1.3.1 2014 年高轨道卫星观测情况统计结果

卫星名称	白天观测圈数	夜间观测圈数	总圈数
Etalon	86	309	395
LAGEOS	711	738	1449
GLONASS	1098	4118	5216
GPS	3	61	64
GIOVEA	1	8	9
Galileo	227	456	683
compass	70	534	604
QZS	15	207	222
IINSS	0	33	33
总计	2211	6464	8675

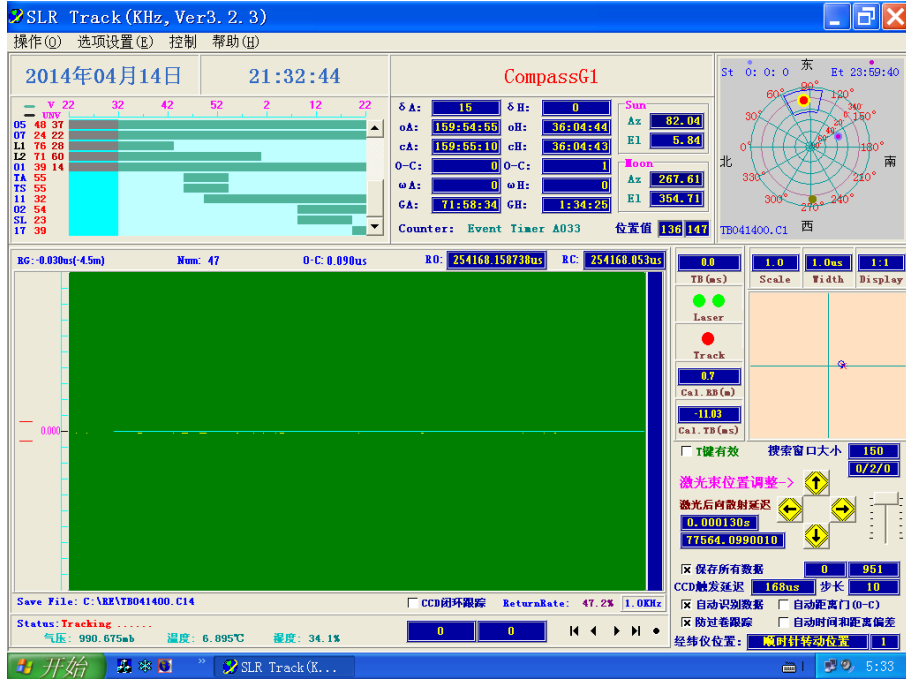


图 1.3.1 地球同步轨道卫星（Compass-G1）白天跟踪界面图

1.4 国际 GNSS 卫星联测情况

国际激光测距服务组织（ILRS）提出了 GNSS 卫星的国际联测任务，希望全球的卫星激光测距台站能够跟踪观测所有的 GNSS 卫星，联测任务获取的数据主要用于 GNSS 卫星的系统标校和轨道的改善。

此次联测任务的 GNSS 卫星主要包括俄罗斯的 GLONASS 全球导航卫星系统、欧洲的 Galileo 全球导航卫星系统和中国的北斗导航系统系列卫星。我站在此次联测任务中取得了优异的观测成绩，为 GNSS 卫星的系统标校和提高定轨精度提供了大量的有效的数据资料。

1.5 2014 年新增卫星统计结果

本年度长春站新增加了 5 颗国际联测卫星并成功获得有效的观测数据，包括印度区域导航卫星系统（IRNSS）中的 IRNSS-1B 和 IRNSS-1C 两颗地球同步轨道卫星。由于我站所处的地理纬度较高，IRNSS-1B 和 IRNSS-1C 卫星经过长春站的最大仰角只有 27 度和 25 度，斜距达到四万多公里，获得有效数据的难度很大，长春站通过努力最终成功获得有效数据。另外增加的还有欧洲的 Galileo-201 卫星，俄罗斯的 Glonass-132 卫星及重新恢复联测的 SpinSat 卫星，SpinSat 卫星是由海军研究实验室研发，主要任务是测试地面站跟踪航天器轨道和转动的能力，采集地球大气层中稀薄上层大气的密度相关数据，进行科学研究，同时测

试新的推进器对于未来小型卫星在自旋和定向方向的推进能力。该卫星的轨道高度比较低、运行速度快、距离偏差和时间偏差都比较大，数据识别比较困难，长春站克服了这一难题并获得了有效的观测数据。

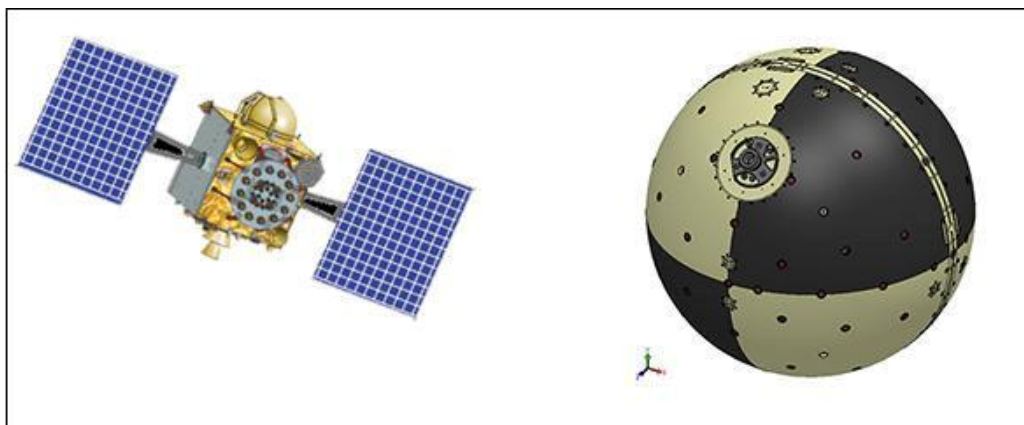


图 1.5.1 IRNSS 和 SpinSat 卫星图片

表 1.5.1 长春站 2014 年新添加卫星观测数据统计表

卫星名称	轨道高度 (km)	圈数
Galileo-201	17300-25900	10
IRNSS-1B	42164	5
IRNSS-1C	42164	7
SpinSat	425	11
Glonass-132	19140	156

1.6 长春 SLR 近十年来整体观测情况

从 2004 年到 2014 年我站全年白天和总的观测数量逐年稳步增长，特别是 2009 年实现白天测距以来，观测数据量更是有很大的突破。经过不断对测距系统的升级与改进，整体的测距能力明显提升，白天的观测能力也稳步提升。

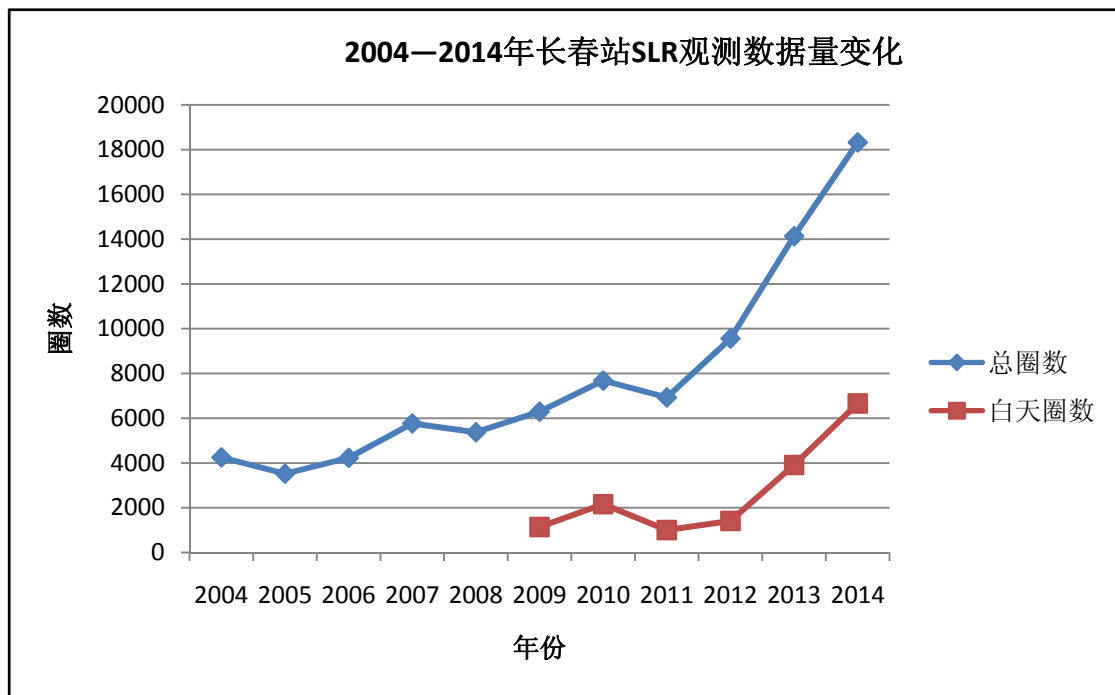


图 1.6.1 2004 年-2014 年长春 SLR 观测数据量变化

1、不同轨道高度卫星观测结果比较

长春站测距系统经过不断的升级改造，测距能力不断的提升，从近三年观测数据统计结果可以看出低轨道卫星、LAGEOS 卫星及高轨卫星观测数量都明显增多。

表 1.6.1 长春站近十年来不同轨道卫星观测数据表

年份	低轨卫星圈数	LAGEOS 卫星圈数	高轨卫星圈数	总圈数
2004	3361	666	225	4252
2005	2816	495	209	3520
2006	3405	449	374	4228
2007	4393	774	599	5766
2008	4213	644	514	5371
2009	5320	560	412	6292
2010	6438	794	447	7679
2011	5297	559	1073	6929
2012	5598	632	3204	9434
2013	7853	1190	5091	14134
2014	10621	1449	7238	19308

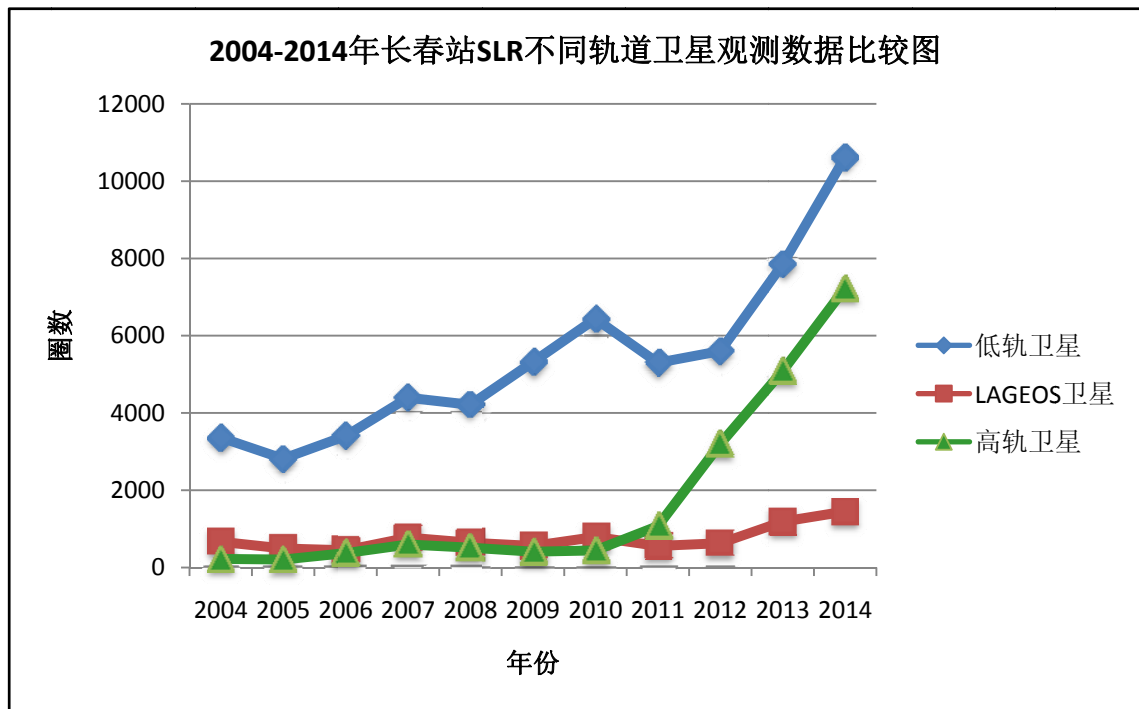


图 1.6.2 近十年来长春站不同轨道高度观测数据统计图

从近十年来的统计结果中，低轨卫星、LAGEOS 卫星、高轨卫星的观测数据量及总的观测数据量较前一年都有明显的提升，特别是在 2011 年到 2014 年期间，低轨卫星和高轨卫星的观测数量上有急剧的提升，LAGEOS 卫星也有增加。

1.7 长春 SLR 环境条件情况分析

1、有效观测天数分析

长春 SLR 站位于吉林省长春市净月潭西山，地理位置优越，大气环境良好。因远离市区，背景光较小，观测环境良好。2014 年共有 307 天获得了有效的观测数据，其中约占全年的 84%，其中获得 3 圈有效观测数据及以下的天数只有 2 天，平均每月的观测天数超过 25 天，特别是在十一月份共观测了 30 天，五月和六月由于激光器故障进行维修，导致观测天数较少。整体来说，全年空气质量良好，浮尘天气很少。

表 1.7.1 2014 年有效观测天数统计结果

月份	观测天数
1	28
2	25
3	28
4	29

5	17
6	16
7	25
8	26
9	28
10	27
11	30
12	28
总计	307

表 1.7.2. 2013 年和 2014 年有效观测天数统计结果

圈数区间	2013 年有效天数	2014 年有效天数
1 圈-10 圈	34	29
11 圈-20 圈	28	20
21 圈-30 圈	22	24
31 圈-40 圈	36	16
41 圈-50 圈	25	25
51 圈-60 圈	39	29
61 圈-70 圈	31	31
71 圈-80 圈	19	23
81 圈-90 圈	25	23
91 圈-100 圈	14	36
100 圈及以上	13	51
总计	286	307

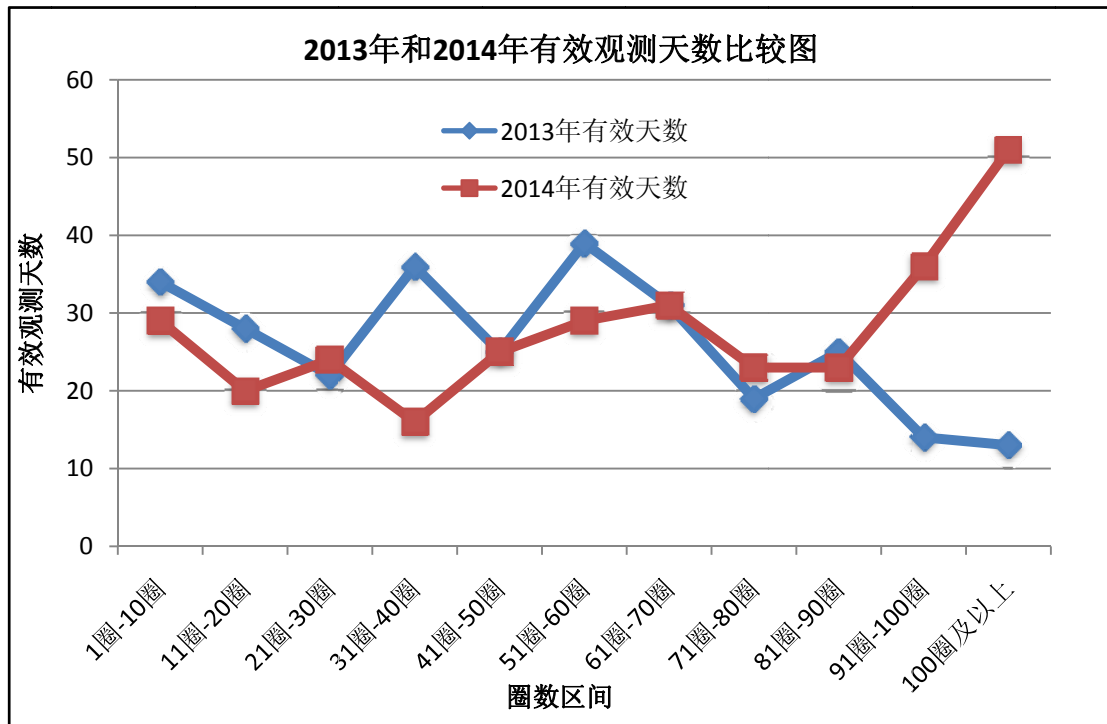


图 1.7.1 2013 年和 2014 年有效观测天数比较图

相较于 2013 年，2014 年的有效观测天数由 286 天增加到 307 天，并且有效观测圈数在 90 圈及以上的天数 2014 年明显高于 2013 年，2014 年单日数据量超过 100 圈的有效天数达到了 51 天，占全年观测天数的 16.7%，体现了我站 SLR 测距能力的提升。

2、气象条件情况分析

我站位于北纬 43 度、海拔 274 米的山坡上，春季较短，干燥多风；夏季温热多雨，炎热天气不多；秋季凉爽，日夜温差较大；冬季漫长较寒冷，一年中有五个月温度平均值在 0℃ 以下，最低温度可以达到零下 30℃，昼夜温差比较大。

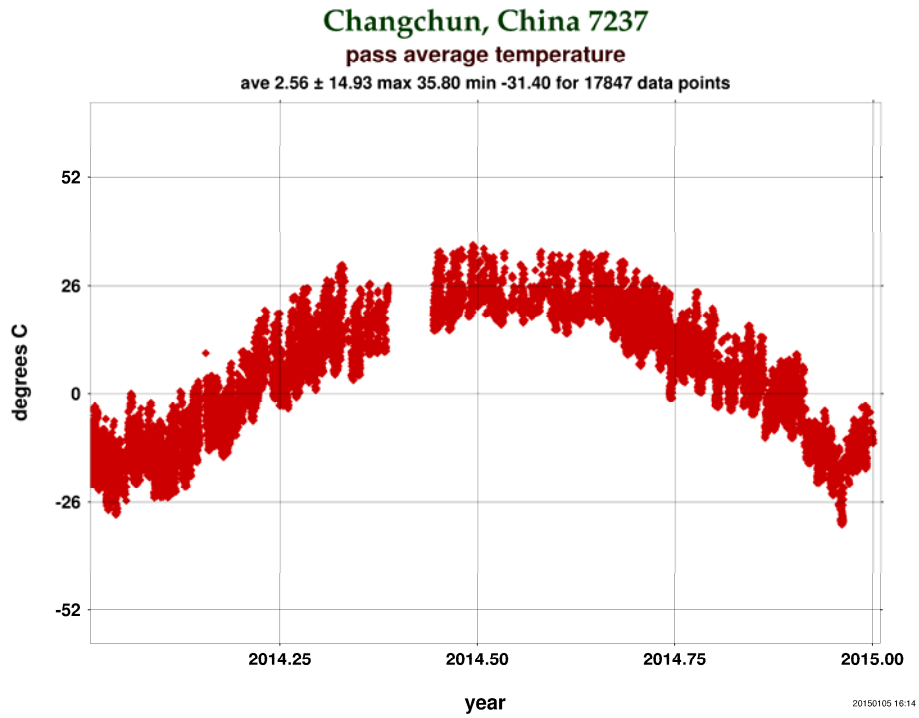


图 1.7.2. 2014 年长春 SLR 站温度变化情况



图 1.7.3 2014 年长春 SLR 站湿度变化情况

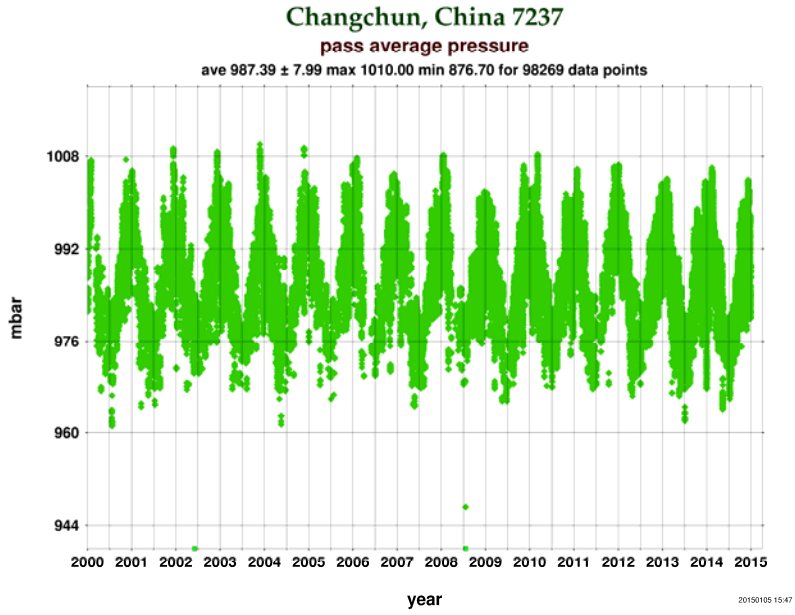


图 1.7.4 2014 年长春 SLR 站气压变化情况

1.8 观测数据结果精度分析

长春站采用 KHz SLR 系统，观测数据量及精度稳定性良好，没有较大的波动。2014 年 LAGEOS 卫星的标准点精度统计如图 1.8.1，2014 年长春站 LAGEOS 卫星的校靶精度如图 1.8.2。

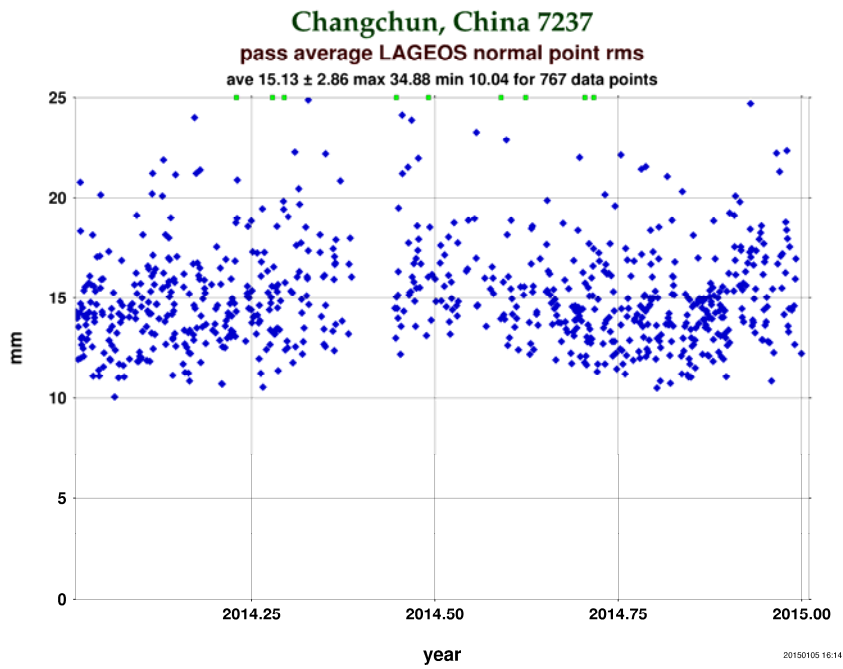


图 1.8.1 2014 年 LAGEOS 卫星的标准点精度统计

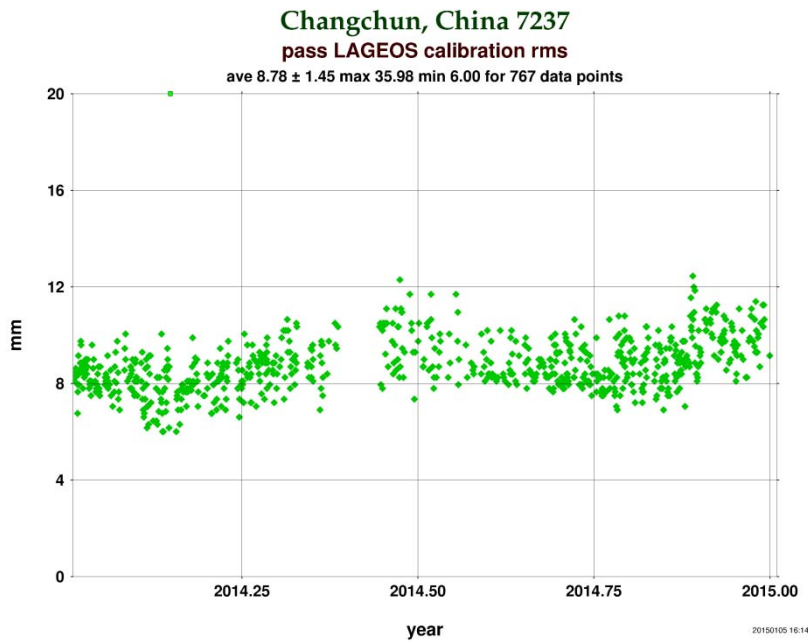


图 1.8.2 2014 年长春站 LAGEOS 卫星的校靶精度

二、系统升级改造及维护

2014 年长春站 SLR 在数据的观测量上有明显的提升，但在增加数据观测量的前提下，不断改进测距系统，提高稳定性。

1、探测器恒温，减小系统差

在白天测距中，太阳光照及环境温度变化会对测距造成很大的影响，探测器位于望远镜的接收终端内，环境温度将改变探测器的工作温度，进而引入额外的系统延迟。及时校准系统延迟是一种简单的处理方法，但合理的做法是将探测器的工作环境控制其规定的范围内。因此，采取对探测器恒温，经过对探测器恒温之前和之后系统差的比较来看，探测器恒温后系统差变化明显减小。图 2.1.1 和图 2.1.2 是对探测器恒温之前和恒温后系统差变化情况的比较结果图。

系统延迟与温度（2014. 10. 20-2015. 1. 20）（无XX措施）

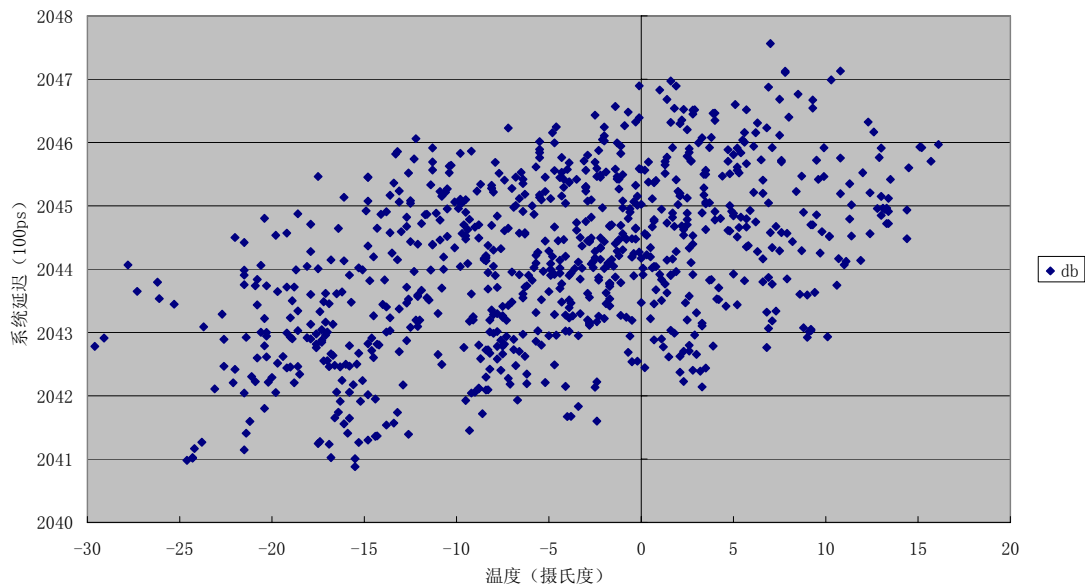


图 2.1.1 探测器恒温之前系统差变化情况

系统延迟与温度（2015. 1. 21-2015. 3. 29）

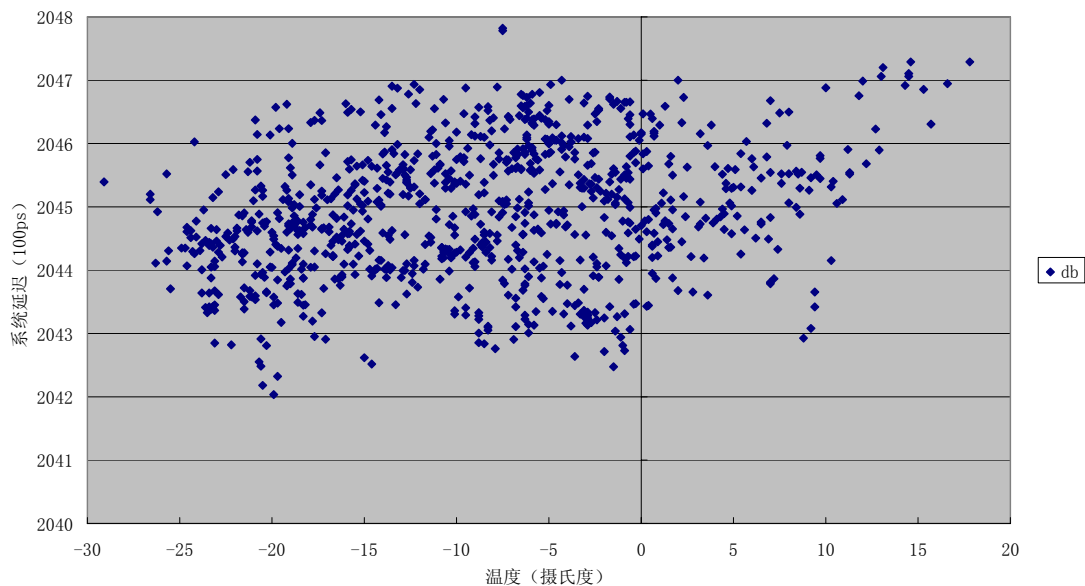


图 2.1.2 探测器恒温之后系统差变化情况

2、激光器泵浦源更换

维修美国 PI 激光器 LD 泵浦，采用国产凯普林公司的 LD 泵浦源替换原有的泵浦源，进行重新耦合，维修后激光器功率达到 1w，恢复正常工作。在 2014 年底，激光器已经连续工作时间超过 17000 多小时。

3、分析望远镜的状态，及时调整望远镜，解决了指向精度问题。望远镜编码器方位的白炽灯损坏，及时完成维修和调整，实现望远镜正常跟踪。

4、完成空间目标轨道改进方法的研究，实现图像采集、数据通讯、算法等集成。定期维护仪器设备，提高系统的稳定性和可靠性，满足白天 KHz 常规观测的要求。

5、同时也对测距系统的跟踪控制软件、目标预报及数据处理软件等进行了优化和改进，使观测更见方便。改进测距控制软件的控制件嵌入方式，增强了软件的可移植性、可靠性和整体性。新增了数据预处理软件的数据自动发送功能，提高观测人员的工作效率。

三、空间碎片激光测距

空间碎片起源于人类的航天活动，目前空间碎片的存在严重地威胁着在轨运行航天器的安全，它们和航天器的碰撞能直接改变航天器的表面性能，造成表面器件损伤，导致航天器系统故障，对航天器的正常运行带来极大的危害。2009 年美俄卫星碰撞是人类有史以来首次近地轨道人造卫星碰撞事件。目前各国都在大力发展和研发多种观测技术，以实现空间碎片的有效监视和监测，精确测定运行轨道，建立可跟踪的空间碎片动态数据库。

我国对空间碎片的连续监测、搜索发现能力不足。因此，开展空间碎片激光测距技术研究为今后开展多技术联合观测和国内空间目标监视系统建设奠定良好的基础。同时，空间碎片激光测距成果将有利于提升激光测距技术在空间非合作目标观测手段中的作用和价值。

3.1 2014 年空间碎片总体观测情况

2014 年，我站已经实现空间碎片激光测距，并获得有效的观测数据。在 26 个有效的观测日内，每天利用晨昏 1 到 2 小时的时间进行空间碎片的观测，其余时间正常进行卫星激光测距，共获得 224 个空间碎片观测目标的有效数据，总计 466 圈，单日最多观测数据量达到 67 圈。将会为空间碎片精密定轨提供很大帮助。

表 3.1.1. 2014 年长春站空间碎片数据结果统计表

观测日期		有效圈数	总计
2 月	2014-2-18	3	23 圈
	2014-2-19	2	
	2014-2-20	2	
	2014-2-21	11	
	2014-2-23	5	

3 月	2014-3-1	34	202 圈
	2014-3-2	31	
	2014-3-5	3	
	2014-3-6	21	
	2014-3-7	30	
	2014-3-9	31	
	2014-3-10	7	
	2014-3-12	10	
	2014-3-17	9	
	2014-3-30	14	
	2014-3-31	12	
4 月	2014-4-4	14	62 圈
	2014-4-6	13	
	2014-4-7	8	
	2014-4-11	16	
	2014-4-12	7	
	2014-4-15	4	
5 月	2014-5-28	42	179 圈
	2014-5-29	64	
	2014-5-30	67	
	2014-5-31	6	
总计			466 圈

3.2 空间碎片观测数据统计分析情况

1、观测目标距离及大小

在观测的 224 个空间碎片观测目标中，共获得 466 圈的有效数据，其中观测目标的最小 RCS（有效雷达散射截面）达到 0.9m² 到，观测距离从 398 公里达到 1732 公里，其中有 26 圈观测数据延伸到晨昏时段，体现了空间碎片激光测距系统的探测能力。

表 3.2.1 空间碎片观测数据部分统计结果

目标代号	观测圈数	有效数据点 数	最小距离 (km)	最大距离 (km)	RCS (平方米)
727	8	8837	556.117	1065.762	5.1
815	8	17500	658.056	1197.68	12
877	7	6425	524.638	1050.787	4.9
2621	7	14856	646.069	1140.722	12.7
4048	6	2399	650.565	1181.196	4.4
4370	6	2910	815.441	1137.727	6.7
4420	6	4562	852.915	1732.805	8.8
4579	6	6481	632.563	1388.042	10.1
4800	6	68166	746.496	1474.982	10.9
5118	6	5691	830.435	1603.899	11.6
5685	6	4534	747.983	1199.172	17.2
6061	5	2353	785.459	1281.619	4.4
6829	5	2502	631.072	1110.737	4.4
6966	5	4811	398.73	1310.108	5.6
7004	5	2910	593.595	990.821	6.8
7493	5	3180	722.51	1627.874	18.6
8800	4	2168	643.067	897.887	3.6
10704	4	1034	617.586	1016.298	4.1
10974	4	3171	661.05	1059.775	4.4
11112	4	1257	797.452	1406.034	4.6
11166	4	2295	629.575	1122.731	4.7
11267	4	1883	810.943	1497.476	4.8
11289	4	2726	542.63	876.902	5.1
11327	4	1992	744.987	1626.377	5.2
11427	4	1386	635.563	879.897	6.2
11574	4	4627	583.101	1112.233	6.5
11608	4	2166	526.138	978.838	6.5
12072	4	2640	688.027	899.379	6.8
12586	4	2303	947.348	1188.687	7.4
12792	4	7110	692.523	1191.68	7.9
13028	4	2666	852.919	1340.079	8.2

13121	4	2694	652.051	1196.174	8.7
13649	4	2368	818.438	1199.171	9.7
13778	4	3240	825.93	1413.534	10.4
14208	4	1764	855.915	1434.51	11.5
14241	4	8695	1046.284	1491.477	14.7
14373	4	4116	727.005	1044.782	15.9

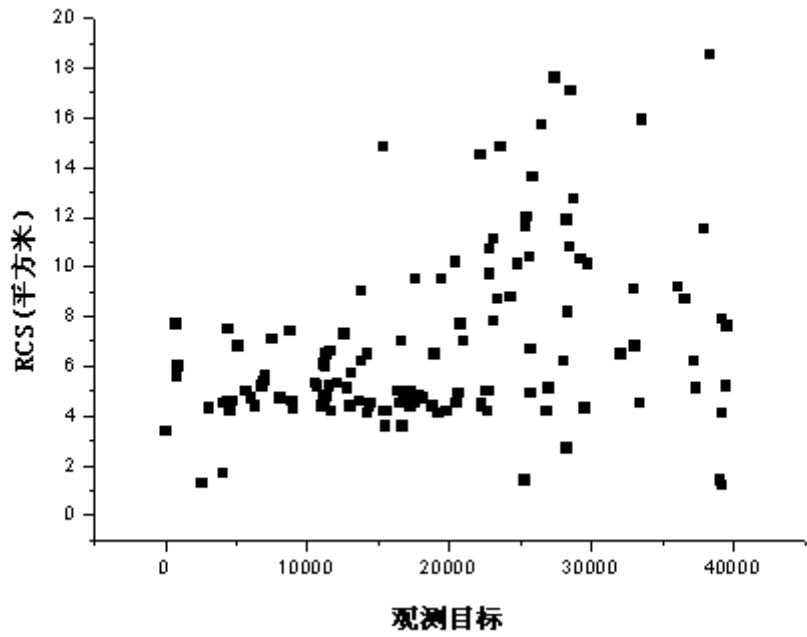


图 3.2.1 空间碎片观测目标大小分析结果图

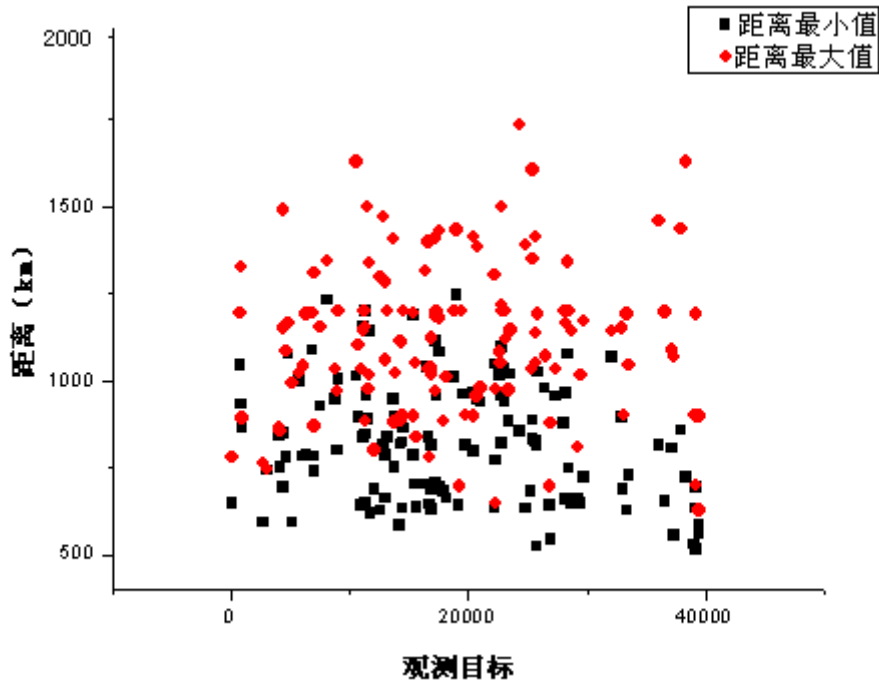


图 3.2.2 空间碎片观测目标距离分析结果图

2、观测数据有效识别

对空间碎片的观测中，可以实现对部分观测目标数据的有效识别，探测回波率高，系统探测能力强，对于个别空间目标的观测回波率非常高，可以在 4 分钟的弧段内识别到 60000 多个有效数据点，相当于卫星激光测距的回波率。

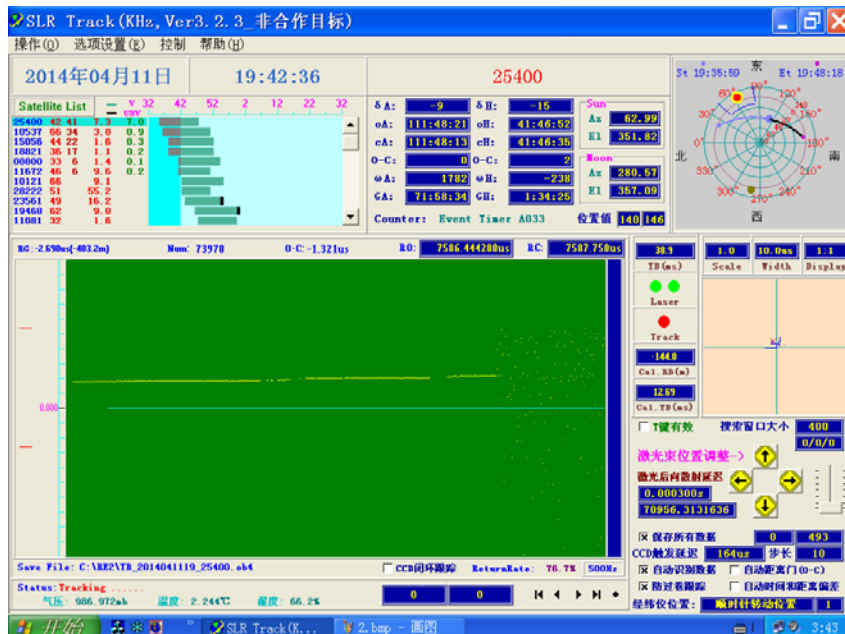


图 3.2.3. 跟踪过程中数据识别截图

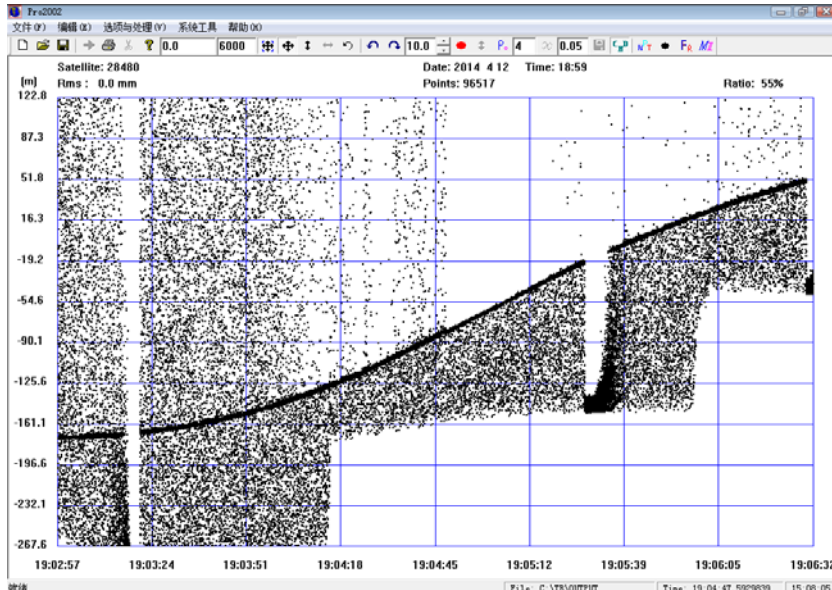


图 3.2.4. 数据处理无自动识别数据截图

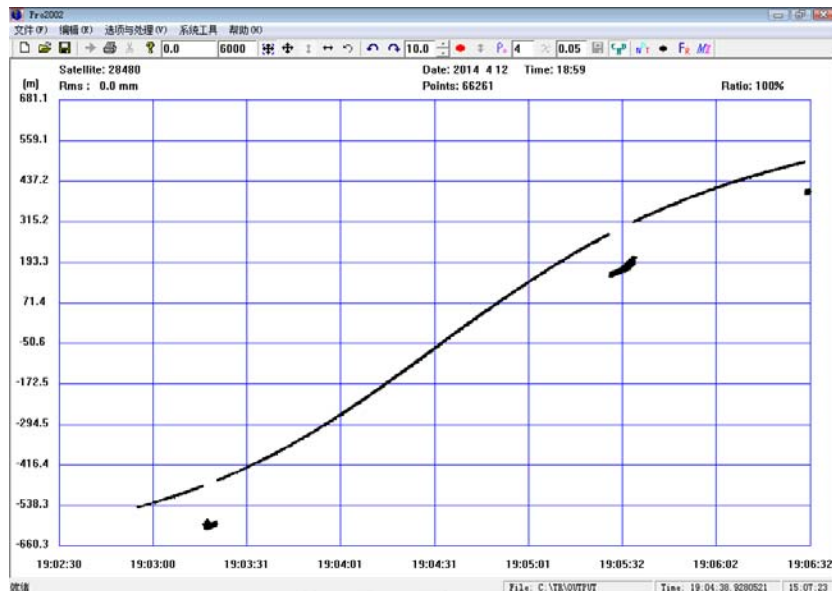


图 3.2.5 数据处理自动识别数据截图

3、观测仰角

空间碎片观测仰角低，最低可以实现仰角 20 度以下目标的有效测距，获得有效的回波数据。

四、总结

本文主要介绍了 2014 年长春站卫星激光测距(SLR)的总体观测情况及取得的观测成绩，SLR 共获得观测数据总量达到 19308 圈，超过历史年观测数据量，并在高轨卫星的观测上有

突破性提高，特别是白天对高轨卫星的观测，共获得有效观测数据 2211 圈，其中 LAGEOS 卫星 711 圈。同时，长春站在开展卫星激光测距的前提下，开展了空间碎片激光测距的研究工作，并获得了有效的观测数据结果，拓展了卫星激光测距技术的研究领域。在 26 个有效的观测日内，共获得 224 个空间碎片观测目标的有效数据，总计 466 圈，单日最多观测数据量达到 67 圈，其中观测目标的最小 RCS（有效雷达散射截面）达到 0.9m^2 到，观测距离从 398 公里达到 1732 公里，将会为空间碎片精密定轨提供很大帮助。