

# 上海天文台卫星激光测距的台站预报和数据预处理软件的功能\*

张海峰<sup>1</sup> 张忠萍<sup>1</sup> 秦思<sup>1,2</sup> 吴志波<sup>1</sup>

(1. 中国科学院上海天文台, 上海 200030; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

## 提 要

卫星台站预报和数据预处理是卫星激光测距中两个重要组成部分,前者为激光测距仪提供引导数据和距离预报值;后者将测距数据中的噪声剔除,保留有效数据,并生成统一格式的数据,以便进一步应用。随着激光测距技术的发展,现使用的统一数据格式已不能满足要求,为此 ILRS 提出一种全新的 CRD 统一数据格式。该文介绍了上海天文台 SLR 卫星台站预报和数据预处理操作软件、标准点计算方法及 CRD 新型数据格式的应用。

主题词: 卫星激光测距 — 卫星台站预报 — 数据预处理 — 标准点 — CRD 数据格式

分类号: P228.5, TP319

## 1 引 言

在如图 1 所示的卫星激光测距 SLR (Satellite Laser Ranging) 各个系统中,卫星台站预报和数据预处理是两个重要组成部分。卫星台站预报是根据星历中的数据信息计算出卫星相对于测站的位置信息(方位、高度和距离),为激光测距仪提供引导数据,以便瞄准目标进行观测,

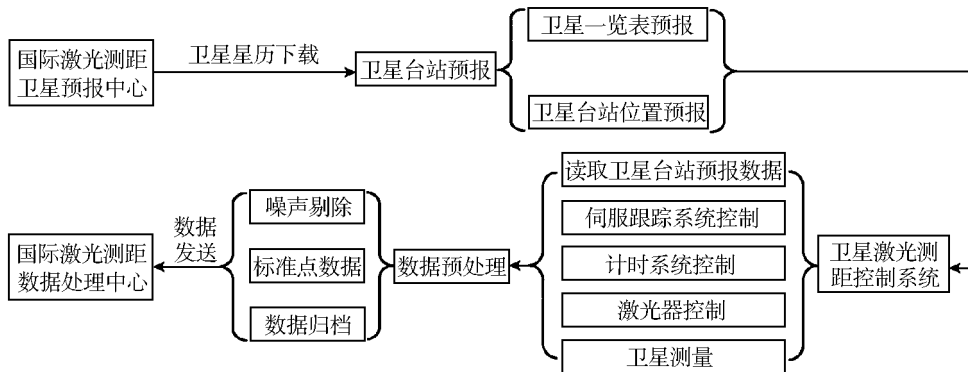


图 1 卫星激光测距流程图

Fig. 1 The flow chart of SLR

收稿日期:2009-05-11; 修回日期:2009-06-15

\* 天文联合基金(No. 10778634)面上项目;上海市空间导航与定位技术重点实验室项目(No. 06DZ22101)资助课题。

同时提供卫星距离预报值  $R_c$ , 用以与观测值  $R_0$  进行比较, 获得距离残差值  $R_{0-c}$ ; 数据预处理是将测距结果中混有的噪声数据剔除, 留下有效数据, 生成统一格式数据, 并发送到国际激光测距服务 ILRS (International Laser Ranging Services) 下属的数据处理中心, 该中心负责整理全球激光测距站数据资料和相关处理工作, 为科学应用研究提供观测数据。随着激光测距技术的发展, 尤其是高重复率激光测距和行星际激光测距的应用, 原使用的统一数据格式已难适应激光测距数据的进一步应用。为此, ILRS 提出了一种可包含多种激光测距技术数据的统一数据格式 CRD (Consolidated Laser Ranging Data)。本文将介绍上海天文台 SLR 站开发的具有良好人机交互的卫星台站预报和数据处理操作软件以及将采用的新型 CRD 数据格式。

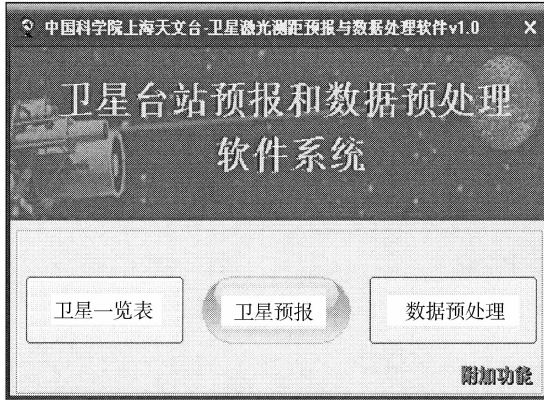


图 2 软件系统主界面

Fig. 2 Main interface of software system

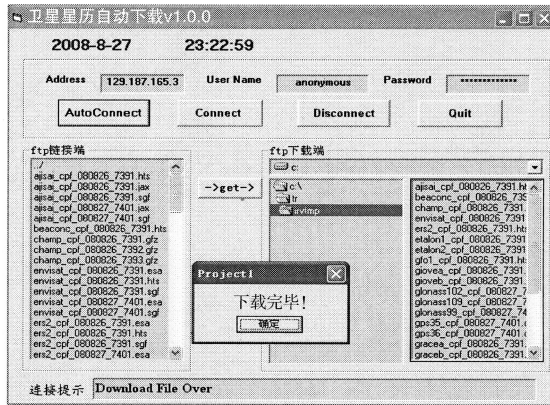


图 3 卫星星历自动下载

Fig. 3 The auto-download ephemeris

卫星星历文件名为 `lageos1_cpf_090423_6131. hts`, 其中 `lageos1` 为卫星名称, `cpf` 为星历格式, `090423` 为日期, `hts` 为星历预报中心。当找到当前日期对应的星历文件后, 执行如下命令: `Inet1. Execute, "GET <卫星星历文件名> <本地计算机路径及文件名>"`, 将指定的 FTP 服务器上星历文件自动下载到本地计算机上, 其中 `Inet1` 为 Internet Transfer 控件的一个实例对象, `GET` 为获取文件指令。软件界面如图 3 所示, 该功能模块的实现为提高 SLR 的自动化水平打下了基础。

## 2 操作软件功能模块

选择 Windows 操作系统作为软件运行平台, 操作软件由 Visual Basic 6.0 编程语言实现, 该编程工具具有较强的图像开发能力。图 2 为操作软件的主界面, 主要有以下功能: 1) 预报当天经过测站上空卫星情况; 2) 获得经过测站上空的每颗卫星预报数据; 3) 测距数据预处理、统一格式数据的生成及文件保存归档。

### 2.1 卫星台站预报模块

#### 2.1.1 卫星星历自动下载

在对卫星进行台站预报时, 需要从国际激光测距预报中心下载卫星星历, 为此开发了用于 FTP 文件自动下载软件。我们使用了 VB6.0 语言中 Internet Transfer 控件, 该控件实现两种广泛使用的 Internet 协议: 超文本传送协议 (HyperText Transfer Protocol, HTTP) 和文件传送协议 (File Transfer Protocol, FTP), 利用控件中 `Execute` 方法可以连接到任何使用这两种协议的站点并检索文件。在登录到卫星星历文件所在的 FTP 服务器后, 我们根据所观测的卫星名称和当前日期, 自动检索星历文件, 如地球动力学卫星 LAGEOS, 其卫星

### 2.1.2 卫星一览表预报

在卫星观测之前需要预知当天经过测站上空的卫星情况,比如卫星过境时间、卫星相对于测站的高度等信息,这些信息对于观测人员十分有用,使得观测人员可方便地安排观测时间及有选择性地观测。表 1 为 2008 年 7 月 2 日多颗卫星一览表预报结果,每圈卫星结果中包含了卫星名字、卫星过境时间、卫星相对于测站最高点、卫星经过测站的可见和地影情况。表中 Start 和 End 两列分别为卫星经过测站上空的开始时间和结束时间,Shadow 列中显示的是卫星经过测站时的可见情况。观测人员通过该表中列出的数据,能很容易地掌握卫星过境情况,并通过表中 Elev 列还可知道某圈卫星的最高点时对应的仰角,便于观测人员确定该圈卫星是否适合观测,提高了观测效率。

表 1 卫星一览表结果

Table 1 The partial results of satellite schedule

SLR Passes Schedule (7821). Time is UTC											
Date		Satellite		Start	End	Elev	MJD	Shadow	TB		
2008	7 2	WED	9401601	G6	0959	1144	74	54649.416	*****	.0	
2008	7 2	WED	505002	99	0959	1218	80	54649.416	*****	.0	
2008	7 2	WED	7501001	ST	1006	1018	26	54649.421	*****	.0	
.....											
2008	7 2	WED	8900103	E1	1524	1817	66	54649.642	*****	.0	
2008	7 2	WED	9207002	L2	1549	1639	33	54649.660	1624 - 1639	.0	
2008	7 2	WED	3902	CP	1614	1617	7	54649.677	-----	.0	
2008	7 2	WED	8606101	AJ	1713	1732	86	54649.718	1729 - 1732	.0	
2008	7 2	WED	9306102	SL	1739	1748	17	54649.736	1744 - 1748	.0	
.....											
2008	7 2	WED	7616324	L1	2140	2200	20	54649.903	*****	.0	
2008	7 2	WED	702601	TX	2150	2158	42	54649.910	*****	.0	

### 2.1.3 卫星台站预报

观测员可从卫星一览表查看经过测站上空卫星的大致情况,而在实际观测时需要知道卫星每时每刻的位置信息,以便预置望远镜,这就需要对每颗卫星进行详细预报。图 4 左半部分为卫星预报界面,根据卫星一览表数据可有选择地对单颗卫星或多颗卫星进行预报。图 4 右半部列出了经过测站某颗卫星的预报轨迹,图中显示的是白天一圈卫星的运行轨迹,轨迹绕开的点(原为红色)为太阳位置。当太阳和卫星在天球上的投影间距比较近时,即望远镜指向太阳附近时,为保护光子探测设备,预报软件中添加了设计环日路径的功能<sup>[1]</sup>,可使望远镜绕过太阳,以避免接收设备受太阳光直射而损坏;当两者在天球上的投影间距大于一定值时,望远镜恢复对卫星的跟踪,沿卫星轨迹方向运行。上述功能在白天激光测距中尤为重要,可预知白天当中有多少颗卫星是经过太阳附近区域及对应的时间信息,这将大大有利于白天激光测距的开展,也有助于观测人员判断卫星位置和实施观测。

### 2.2 数据预处理模块

在激光测距资料应用之前,需要对观测数据进行预处理,将资料中的异常噪声点剔除,并生成标准格式数据发送到国际激光测距数据处理中心。该中心对全球测距资料进行分析、归



图4 卫星台站预报

Fig. 4 The satellite site predicts

档、整理,为卫星精密定轨等科学研究提供观测资料。

### 2.2.1 预处理方法

目前上海台常规 SLR 数据预处理分三步<sup>[2]</sup>:1) 屏幕处理;2) 多项式拟合;3) 标准点数据生成。屏幕处理是指将距离残差值  $R_{0-c}$  值显示在屏幕上,将明显的异常值剔除;多项式拟合是在屏幕处理后,将余下的距离  $R_{0-c}$  值以时间为引数进行多项式拟合计算拟合残差  $FR$  (Fit Residuals),并计算内符精度  $\sigma$ ,再以  $2.5\sigma$  作为判别标准进行异常值的剔除,循环迭代数次,最后求得的  $\sigma$  表征了该观测弧段的内符精度;通过一定的算法对剩下的数据进行处理,生成统一格式的标准点数据,同时解算出卫星预报的轨道误差,包括时间偏差 (Time Bias,  $TB$ ) 和距离偏差 (Range Bias,  $RB$ ),以便对随后的观测提供实时修正。

### 2.2.2 标准点计算方法

标准点数据是国际激光测距网各站的主要数据产品之一,其计算方法全球统一。标准点就是将某一时段的有效观测数据点综合组成的单个数据点,目前采用的是 Herstmonceux 计算法则,具体计算步骤如下:

(1) 经过预处理后获得有效距离残差  $R_{0-c}$  值及拟合残差值  $FR$ ,将所有  $FR$  值从 UTC 零时开始按时间分成若干个固定长度的“窗口”(bin),每个“窗口”内数据点将浓缩成一个标准点。“窗口”的时间长度取决于卫星距离<sup>[3]</sup>,比如 GPS-35/36 卫星“窗口”的时间长度为 300s, LAGEOS 卫星的为 120s, Ajisai 卫星为 30s, Champ 卫星为 15s。

(2) 计算第  $i$  个  $bin_i$  内  $FR$  的平均值  $\overline{FR}_i$  和对应时刻  $\overline{t}_i$ 。

(3) 在第  $i$  个  $bin_i$  内寻找与  $\overline{t}_i$  最接近的时刻  $t_i$  及所对应的观测距离  $R_0$ 、残差  $R_{0-c}$  和  $FR_i$ 。

(4) 第  $i$  个标准点数据  $NP_i$  由  $NP_i = R_0 - FR_i + \overline{FR}_i$  计算获得,该标准点数据的精度  $RMS_i$  可由下式获得:

$$RMS_i = \sqrt{\frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} (FR_{i,j} - \overline{FR}_i)^2},$$

其中  $n_i$  为该标准点所包含的数据点数,  $j$  为数据点序号 ( $1 \sim n_i$ )。若标准点窗口中只含有一个数据点时其精度值以整个弧段数据的内符精度代替。

在选取合适多项式的情况下,其拟合残差值  $FR$  应该是随机误差量,由标准点计算公式可知,标准点就是对某一观测距离值扣除随机误差后再加上  $bin_i$  内的平均随机误差,这样某一距离观测值的误差由单个随机误差变为平均随机误差,使得标准点在很大程度上独立于特定的拟合多项式。

### 2.2.3 数据预处理软件

数据预处理功能在图 1 表示的流程中“数据预处理”部分实现。图 5 中左为数据预处理软件界面,在进行预处理之前需要大气参数(气压、温度、湿度)、地靶测量值和精度,以对测距数据进行修正。通过选择“自动读取参数”,读取测距过程中所产生的参数文件,根据所要处理弧段的时刻来获得对应的参数值并将其显示出来以检查正确性,提高了数据预处理的方便性和准确性。图 5 中右为预处理软件操作界面,图中是 2008 年 7 月 22 日 20 时 BeaconC 卫星测距结果,中间密集点是有效点,比较弥散的为噪声。通过上述介绍的三步处理方法,根据测距数据结果情况采取 6-8 阶多项式进行拟合,最后计算拟合残差内符精度,作为整弧段测距精度。处理中还包含了时间偏差、距离偏差、标准点计算、标准点数据文件生成等操作。

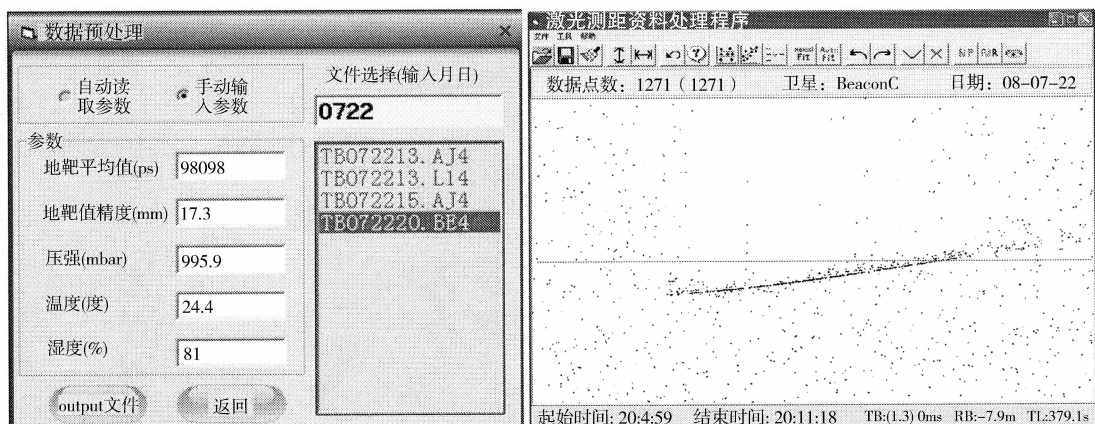


图 5 数据预处理软件

Fig. 5 The software of data pre - processing

在卫星激光测距系统中,气象参数和地靶标校值对测距结果也具有重要影响,气象参数的变化将对地靶标校值产生影响,而地靶标校值直接影响到测距结果的准确性,因此有必要对一段时间内的气象参数和地靶标校值进行统计,以查看测距系统的状态。在数据预处理软件中我们新增了对气象参数和地靶标校值的统计,如次页中图 6 所示。由统计结果可查看近一段时间内的气象参数变化及地靶标校值的稳定性,从而反映出测距系统的稳定性,为了解测距系统的状态变化,尤其是地靶标校值的变化,提供依据。

## 3 CRD 数据格式

CRD 数据格式不是在原有的数据格式上进行补充修改,而是一种全新的数据格式<sup>[4]</sup>。除可包含现在测距数据(Fullrate 数据、Normal Point 数据和 Sampled Engineering 数据)外还包含今后可预见的其它目标测距的数据,而且数据格式中对某些数据采用了自由格式,不再规定具

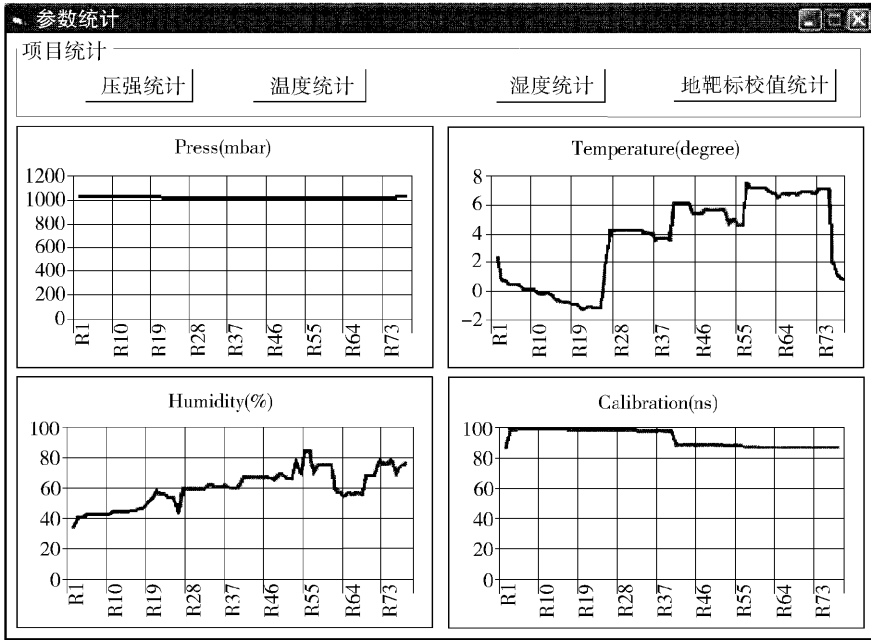


图6 气象参数及地靶测量值统计

Fig. 6 The statistics of meteorological data and system calibration

体数值长度,满足了具有大量测距数据的高重复率激光测距和远距离的行星际激光测距对数据格式的要求,进而扩展了数据格式的应用范围。数据格式在形式上类似于国际激光测距服务(ILRS)三年前所提出的CPF卫星预报数据格式<sup>[5]</sup>,它由三部分组成:1)数据表头部分,包含测距站、观测目标、时间信息等内容;2)参数部分;3)数据部分,包括激光发射时刻、接收时刻及其它一些信息。其中数据表头部分是固定格式,系统参数和数据部分为自由格式。表2为CRD数据格式中的标准点数据(标准点算法未变),其中以“H”开头的行即为表头信息,“H8”为数据结束标志,“H9”为文件结束标志;以“C”开头的行即为测距系统参数部分;以“11”开头的行即为标准点数据部分。根据第一列标志数据可区分所记录的数据类型,这也使得在同一个文件中可记录多种数据。

相比先前数据格式,比如 Fullrate (即 Merit II)、Normal Point 和 Sampled Engineering 数据格式,该数据格式具有以下几方面的优点:1)新增数据统计信息参数,有助于对测距数据进行分析 and 评判;2)在单个数据文件中可容纳多通道、多回波、多波长测距数据,提高了数据的整合性;3)常规反射式激光测距模式(低重复率和高重复率)及应答式激光测距模式等数据可生成同一种数据格式,便于数据及数据文件的处理;4)某些数据采用了自由格式,使得测距数据结果可根据不同测量目标及测量要求选择不同有效位数;5)各个测站系统设备及状态参数可显示在数据文件中,便于掌握测距系统的状态;6)数据格式具有可扩充性,使得在以后出现新数据时,无需重新设计整个数据格式,只要在原有格式上增添就可以完成,具有较强的灵活性。

数据格式的优点将在今后高重复率激光测距和行星际激光测距技术发展中逐渐体现出来,而且上述这两项技术亦是激光测距技术发展趋势,一方面可提高观测数据量和测量精度,另一方面可扩展激光测距的测量范围。上海天文台 SLR 站作为长期参与国际激光测距联测的台站,积极适应国际激光测距的新变化,在数据预处理中实现了新旧数据格式的转换,并已

在常规激光测距中得到应用。

表 2 CRD 标准点数据格式

Table 2 The CRD Format for Normal Point

H1	CRD	1	2008	09	09	11															
H2	SHA2		7821	28	01	4															
H3	Starllite	7501001	1134			7646	0	1													
H4	1	2008	09	09	11	12	44	2008	09	09	-1	-1	-1	1	0	0	0	1	0	2	0
C0	0	532,000	shao																		
60	shao	1	1																		
50	shao	96.0	-1.000	-1.00	-1.00	-1.0	0														
20	40364.505	1003.20	297.90	74	0																
40	40364.5050503	0	shao	-1	-1	-1	79496.0	-1	61.0												
11	40364.5050503	0.013303034364	shao	2	30	21	72.0	-1.000	-1.000	-1.0	-1.0										
11	40393.1300327	0.013030212460	shao	2	30	23	98.0	-1.000	-1.000	-1.0	-1.0										
11	40424.3800343	0.012854626253	shao	2	30	18	110.0	-1.000	-1.000	-1.0	-1.0										
11	40459.3800384	0.012816141038	shao	2	30	14	74.0	-1.000	-1.000	-1.0	-1.0										
11	40485.7550346	0.012898883385	shao	2	30	27	122.0	-1.000	-1.000	-1.0	-1.0										
11	40521.3800181	0.013159878167	shao	2	30	6	114.0	-1.000	-1.000	-1.0	-1.0										
11	40550.0050277	0.013487811957	shao	2	30	20	102.0	-1.000	-1.000	-1.0	-1.0										
11	40572.3800398	0.013812451588	shao	2	30	36	83.0	-1.000	-1.000	-1.0	-1.0										
H8																					
H9																					

## 4 总 结

本文介绍了上海天文台 SLR 站的卫星台站预报和数据预处理软件的功能模块、实现方法和标准点计算方法。软件充分考虑了可操作性、方便性及自动化,提高了激光测距的观测效率,为提高 SLR 系统的自动化水平打下基础。在数据格式方面,介绍了国际激光测距服务 ILRS 所提出的一种全新数据格式 CRD,这是国际激光测距的一项重要举措,旨在适应和满足今后激光测距技术中对数据格式的要求。该数据格式具有较强的灵活性、适应性。上海天文台 SLR 在数据预处理中已采用了 CRD 数据格式,以适应国际激光测距发展趋势。

### 参 考 文 献

- [1] 张忠萍,肖焱焜. 中国科学院上海天文台年刊,1994,15:143
- [2] 叶叔华,黄斌. 天文地球动力学,济南:山东科技出版社,2000,120
- [3] [http://ilrs.gsfc.nasa.gov/satellite\\_missions/slr\\_sats.html#npt](http://ilrs.gsfc.nasa.gov/satellite_missions/slr_sats.html#npt)
- [4] [http://ilrs.gsfc.nasa.gov/products\\_formats\\_procedures/crd.html](http://ilrs.gsfc.nasa.gov/products_formats_procedures/crd.html)
- [5] 张海峰,张忠萍. 中国科学院上海天文台年刊,2006,27:8

# THE FUNCTIONS OF SATELLITE POSITION PREDICTION AND DATA PRE-PROCESSING SOFTWARE FOR THE SHANGHAI SLR STATION

ZHANG Hai-feng<sup>1</sup> ZHANG Zhong-ping<sup>1</sup> QIN Si<sup>1,2</sup> WU Zhi-bo<sup>1</sup>

(1. Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

## Abstract

The satellite position prediction and data pre-processing software are very important for an SLR station. The former provides the accurate pointing information and the predicted range for satellites tracking, and the latter eliminates the outliers in the ranging data and produces the valid data with a consolidated data format for further processing. With the development of SLR technology, ILRS will adopt a new consolidated data format named CRD in order to meet the future requirements. This paper introduces the satellite position prediction and data pre-processing software developed for the Shanghai SLR station, the method of data pre-processing and normal point data formation, and the application of CRD data format.

**Key words** SLR — satellite position prediction — data pre-processing — normal point — CRD data format