

中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)

中国科学院 上海天文台年刊

Annals of Shanghai Astronomical Observatory
Chinese Academy of Sciences

2006 总第27期



上海科学技术出版社

中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)

《中国学术期刊综合评价数据库》《中国科学引文数据库》来源期刊

《中国期刊网》《中国学术期刊(光盘版)》《万方数据资源系统数字化期刊群》全文收录

本刊通过“全国非邮发报刊联合征订服务部”发行,联系地址为:天津市大寺泉集北里别墅 17 号联合征订服务部,邮编:300385。读者可向该服务部直接汇款订购,汇款单上请注明订购本刊,也可直接向本刊编辑部订购,本刊编辑部地址:上海市南丹路 80 号,邮编:200030。

中国科学院上海天文台年刊

2006 年 总第 27 期

中国科学院上海天文台主办

上海世纪出版股份有限公司

上海科学技术出版社出版

(上海市钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

中船公司第 704 研究所印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 9.0 字数 240 000

2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—350

ISBN 7-5323-8677-5/P·71

定价: 20.00 元

本书如有缺页、倒页、错装等严重质量问题,
请向本刊编辑部联系调换

《上海天文台年刊》第十二届编辑委员会

主 编： 胡小工

副主编： 郑为民 邵正义 万宁山

委 员： (以姓氏笔划为序)

平劲松	李金岭	邱 实	陈 力
陈 肖	周永宏	林伟鹏	范庆元
张为群	张忠萍	陶 隽	曹新伍
黄乘利			

责任编辑： 万宁山

E-mail: sonk@shao.ac.cn

The Twelfth Editorial Board of Annals of Shanghai Observatory

Editor-in-Chief: HU Xiaogong

Deputy Editor-in-Chief: ZHENG Weimin SHAO Zhengyi WAN Ningshan

Members of the Editorial Board:

PING Jingsong	LI Jinling	QIU Shi	CHEN Li
CHEN Xiao	ZHOU Yonghong	LIN Weipeng	FAN Qingyuan
ZHANG Weiqun	ZHANG Zhongping	TAO Jun	CAO Xinwu
HUANG Chengli			

Editor: WAN Ningshan

中 国 科 学 院
上 海 天 文 台 年 刊
ZHONGGUO KEXUEYUAN
SHANGHAI TIANWENTAI NIANKAN
第 27 期
目 次

上海天文台 2005 年的科研及其相关工作 洪晓瑜(1)

天文地球动力学

SLR 新星历及其在卫星预报中的应用 张海峰 张忠萍(8)
海洋潮汐模型在浅海区域的应用 虞南华(17)
并置 VLBI 站相对形变率及其与 VTRF2005 结果的比较 杨志根 舒逢春(26)
长三角地区电离层变化的 GPS 监测 韩 玲 章红平 平劲松 朱文耀(33)
2005 年上海天文台卫星激光测距观测报告 上海天文台卫星激光测距应用团组(43)

恒星、恒星系统

按运动学方法确定疏散星团 M11 的距离 赵君亮 陈 力(47)
年轻疏散星团 NGC 2244 的成员概率与空间运动 陈 力 高建云 王家骥(54)
疏散星团 NGC 6530 的光度函数和分层效应 赵君亮 温 文(61)

天文仪器

卫星导航接收机中码跟踪实现方式的研究 蔡 凡 尹 燕 张秀忠(69)
相位校准电路原理分析及测试 王锦清 韦文仁(83)
DSP 并行引导方法在氢钟自动调谐系统中的应用 安 艳 刘铁新(92)
氢原子钟用吸附泵调研报告 杨 浩(100)

计算机软件、数据处理

VLBI 相位校正信号提取的软件实现方法 杨 艳 郑为民(107)
GPS 无线电掩星数据处理系统 郭 鹏 徐会作(118)
高重频激光测距数据处理方法 孙宝三 张忠萍 杨福民(129)

ANNALS OF SHANGHAI OBSERVATORY

ACADEMIA SINICA

No. 27

CONTENTS

- The scientific research and technical work of Shanghai Astronomical Observatory in 2005
 HONG Xiaoyu(1)

Astrogeodynamics

- The new SLR ephemeris and its application to predicting satellitic
 ZHANG Haifeng, ZHANG Zhongping(8)
- Ocean tide models' performance in coastal regions YU Nanhua (17)
- Relative deformation rates between co-located VLBI stations and its comparison with VTRF2005
 YANG Zhigen, SHU Fengchun(26)
- Monitoring the ionospheric TEC variations over Yangtze Delat region
 HAN Ling, ZHANG Hongping, PING Jingsong, Zhu Wenyao(33)
- Satellite laser ranging observations at Shanghai Astronomical Observatory in 2005
Satellite laser ranging technique and application group at Shanghai Astronomical Observatory (43)

Stars, Stellar systems

- Determining the distance of open cluster M11 from the pure kinematical observational data
 ZHAO Junling, CHEN Li(47)
- Membership and spatial motion of young open cluster NGC 2244
 CHEN Li, GAO Jianyun, WANG Jiaji(54)
- Luminosity function and segregation effect of the open cluster NGC 6530
 ZHAO Junliang, WEN Wen(61)

Astronomical Instrument

- Research on the sampling offset about satellite navigation receiver
 CAI Fan, YIN Yan, ZHANG Xiuzhong(69)
- The analysis and test of phase calibration WANG Jinqing, WEI Wenren (83)

Parallel bootload method of hydrogen atomic clock CAT system based on DSP	
.....	<i>AN Yan, LIU Tiexin</i> (92)
A report on getter pump for hydrogen maser	<i>YANG Hao</i> (100)

Computer Software, Data processing

Software realization method of extracting VLBI phase calibration signal	
.....	<i>YANG Yan, ZHENG Weimin</i> (107)
GPS radio occultation data processing system	<i>GUO Peng, XU Huizuo</i> (118)
Screen processing for satellite laser ranging at high repetition rate	
.....	<i>SUN Baosan, ZHANG Zhongping, YANG Fumin</i> (129)

上海天文台 2005 年的科研 及其相关工作

洪 晓 瑜*

(中国科学院上海天文台, 上海 200030)

提 要

总结了在 2005 年度中国科学院上海天文台的日常科研工作及与其相关的人才培养和引进、科技开发、科研管理、国际合作交流以及精神文明建设等工作中取得的成果。

主题词: 科技创新 — 人才培养和引进 — 科研管理 — 科技合作交流 — 精神文明建设

分类号: P112, G31

1 概 况

在中国科学院新时期两个面向的办院方针的指引下,2005 年度我台的各项工作按二期创新工作的目标和任务进行了安排。全台广大职工在日常科研及其相关工作的岗位上通过不懈的努力和拼搏,取得了许多显著成绩。

2005 年,在面向世界科学前沿方面,我台科技人员承担了科技部 973 项目、基金委重点和面上项目、科学院基础研究重点等项目的研究,取得了一些突破性的科研成果。其中较为突出的是:“宇宙结构形成的数值模拟研究”获国家自然科学二等奖;我台科研人员在国际顶尖学术刊物《Nature》和《Science》都发表了重要的科学论文;经过一段时期的实践,我台天体物理研究的科学目标得到进一步凝聚,并和中国科学技术大学联合成立了《星系宇宙学研究联合实验室》,为进一步开展星系宇宙学研究开辟了道路。在面向国家需求方面,我台承担了多项国家和有关部委项目,特别是两项国家重大专项。

2005 年我台完成行政班子的届中考核和中国科学院二期创新工程的评估工作,制定了我台中长期发展规划和三期创新方案。实行了“按需设岗、公开招聘、择优聘任、合同管理”的岗位聘任制,完成了科技人员、管理人员新一轮的岗位聘任。

2005 年我台还首次获得了上海市文明单位的光荣称号。

收稿日期:2006-07-14; 修回日期:2006-08-10

* 本文作者为中国科学院上海天文台常务副台长。

2 科研工作

2.1 论文发表情况

2005 年,我台科研人员在各种学术期刊上共发表论文 152 篇,其中在 SCI 期刊上发表的论文有 84 篇,被 EI 收录的论文 2 篇。SCI 论文数创历史新高,第一作者是我台科研人员的 SCI 论文被其它 SCI 论文引用数约为 203 篇次。

以中国科学院“百人计划”入选者、我台沈志强研究员为主要成员的国际天文研究小组,利用世界上先进的甚长基线干涉阵(VLBA),发现了银河系中心存在超大质量黑洞的最新证据,该项研究成果发表在 2005 年 11 月 3 日出版的国际知名学术期刊《Nature》上,《Nature》在同期的栏目内还配发了专题评述。该论文发表后,迅即在国内外引起重大反响,一些国际和国内的科技媒体都在第一时间报道了这项研究工作。为表彰这一突破性的发现,中国科学院院长路甬祥专门发来贺信,白副院长在院工作会议上的报告中也提到该项成果,基础局张杰局长在向院领导汇报时将其列为院重要科研成果。

我台徐烨博士与南京大学天文系、美国哈佛-斯密松天体物理中心和德国马普射电天文研究所专家合作,使用世界上先进的甚长基线干涉阵,以太阳和地球的距离作为基线,采用三角视差的方法,首次高精度测得银河系英仙臂的距离,测量的相对精度为 2%,这是该距离的测量工作中精度最高的。在 12 月 8 日出版的美国《Science》杂志网络版上首先刊登了这一成果,并在 2006 年 1 月 6 日出版的《Science》杂志上正式发表,杂志还采用该研究成果作为封面。

2.2 承担项目获奖情况

我台景益鹏研究员承担的“宇宙结构形成的数值模拟研究”课题,采用计算机模拟方法研究宇宙结构的形成,取得重要成果,该项目继 2004 年获上海市科技进步一等奖后,2005 年获国家自然科学二等奖,为此,路甬祥院长特意发来贺信表示祝贺。这是我台的科研项目第二次获得国家自然科学二等奖。

我台承担的“上海地区 GPS 综合应用网”项目,在 2004 年通过验收后,2005 年获得了上海市科技进步二等奖。

2.3 基金申请情况

2005 年我台申请国家自然科学基金项目获得批准的有 10 项(其中重点 2 项,面上和青年基金 5 项,主任基金 3 项)。申请的上海市科委项目获批 5 项,分别在启明星、自然基金、浦江人才计划、学科带头人、白玉兰基金中各获批 1 项。

2.4 承担科研任务完成情况

① 承担绕月工程下达的任务成果斐然:完成星地初样对接试验;圆满地完成了 USB 和 VLBI 联合测轨试验观测任务;完成上海站和乌鲁木齐站天线伺服系统的改造工作;四台站 S/X 双频接收机的研制工作进展顺利,并已在各台站安装;北京站和昆明站 VLBI 数据记录终端的研制和改造已基本完成,正在安装和调试之中;两台氢钟的研制已完成,一台已运往北京;研制成功三台站硬件处理机样机,并已启动五台站处理机正样机的研制;软件处理机研制也取得初步成果,成功处理了多次 VLBI 观测的实验数据;软件工程化管理已启动,通过对任务书的评审,各后处理软件已实现联调。为参加 2006 年 5 月底对欧空局探月卫星 SMART-1 的 VLBI(四台站准实时)和 USB 联合定轨的实战演练获得成功奠定了基础。

② 科技技改项目有序推进:为更好完成国家和有关部委项目下达的科研任务,我台需要进行科技技改项目。首次申请就获得成功,目前环境评估报告已获得上海市环境局的批准,可行性研究报告将进入评审阶段。

此外,国家民用航天“十一五”规划和上海市科技中长期规划中,已把我台在有关航天技术的工作列入其中,为下一步申请项目打下了基础。在目前已启动的民用“十一五”三个预研项目中,我台参与了其中的两个(“夸父计划”和“多星编队重力场测量卫星”)。

2.5 科研工作的检查与验收

① 973 项目《21 世纪天体物理重大问题:星系形成与演化》课题通过了验收。我台景益鹏、束成钢两位研究员分别负责的子课题“宇宙大尺度结构的理论和样本”、“星系结构与动力学”都顺利结题,其获得的评价均为优秀。

② 廖新浩研究员负责的国家基金重点项目《行星地球动力学分层结构与自转动力学》取得多项成果,正在进行结题的准备工作。束成钢研究员负责的国家基金重点项目《星系演化及活动性的半解析和 VLBI 研究》也通过了中期评估。黄城研究员负责的中国科学院方向性项目顺利完成,正等待验收。

③ 我台自行研制的漂移扫描 CCD 系统通过验收,达到预期目标,为进一步申请相关的科研项目打下了良好的基础。

2.6 三大观测设备运行正常

① 卫星激光测距设备:2005 年完成了设备的整体搬迁。4 月份完成了 SLR 仪器的吊装和搬运工作后就立即开展了测距系统的恢复工作,尽快开始了常规的卫星激光测距工作。在 2005 年 1 月至 4 月、8 月至 12 月两段时间内,总共获得观测 1048 圈。此外,10ns 距离门控制装置已研制成功,并在实际测距工作中应用,取得了良好的效果。为提高卫星激光测距结果的质量,还完成了 600mm 主、副镜的加工维修保养工作。

② 1.56m 光学望远镜:2005 年佘山 1.56m 望远镜正常运转,使用该望远镜的观测研究结果在 SCI 期刊上发表,并被其他作者多次引用。全年共有 154 夜(仅就每夜观测 4 小时及以上统计)进行了观测。另外还完成了圆顶的整修、观测辅助楼装修、1.56m 望远镜的镀膜等工作。与我台天仪中心合作协调工作事宜也取得进展,天仪中心将逐步负责设备维护和日常管理,而开放实验室则负责望远镜的科学目标、观测时间申请、设备更新等工作。

③ VLBI 观测设备:佘山 VLBI 观测基地正常运行,完成了作为 EVN 和 IVS 成员而进行的国际常规观测任务。为了完成嫦娥绕月工程提出的任务,佘山 VLBI 观测基地今年成功地进行了多次对人造卫星的 VLBI 观测实验。此外还参与了中国科学院和欧空局联合发射的地球空间的探测卫星(TC1 和 TC2)的数据接收任务。2005 年全年观测时间共计约 1370 小时。此外还对射电望远镜进行了一系列较大的升级改造:更新了控制系统、调整天线面、更新 S/X 波段馈源和接收机等,使其工作更为可靠。

3 人才的培养与引进

3.1 吸引优秀人才

2005 年进一步认真落实了我台人才工作的各项具体措施,积极做好科技人才特别是将才和帅才的引进和培养,通过优化政策、加强协调、改进服务,努力营造和谐、充满活力的吸引人

才的环境氛围。2005 年,通过多方努力,我台成功引进了三位留学海外的人才,并已全部入选中国科学院“百人计划”。

在引进人才的同时,我们还十分重视吸引海内外知名专家来台开展高层次的国际合作和交流。这些专家大都在发达国家担任教授或相当职位,在重点、前沿和交叉学科的科学研究领域具有相当高的学术水平。另外,目前已有 9 位海内外知名学者来台进行科学研究工作。

以上这些优秀人才的引进和国际合作交流,极大地提高了我台科技队伍的整体创新能力,为我国天文事业的可持续发展作出了贡献。

3.2 培养研究生与博士后人才

2005 年共录取研究生 39 名(其中博士生 16 名、硕士生 23 名);年内共有 20 名研究生毕业。目前我台共有在读研究生 112 名(其中博士生 45 名、硕士生 67 名),为建台以来人数最多。2005 年有 1 人获得中国科学院刘永龄特等奖学金。

2005 年博士后进站 4 人,出站 3 人,目前在站博士后 7 人。在工作中,充分发挥博士后在科研和研究生培养中的作用。在站博士后中有 1 人获得中国科学院王宽诚博士后基金。

4 开发工作

我台开发工作在原有的基础上,继续保持较好的发展势头。总公司 2005 年超额完成了年初制定的经营目标,在为客户做好后勤保障和物业服务工作的基础上,也十分重视房租的清欠工作。目前房屋出租率已达到 99%,资金回收率达到 95%。总公司投资的宇丰、射电、吴特三个公司都圆满完成了经营计划,连续实现盈利经营。

5 科研管理工作

5.1 制定中长期发展规划和创新三期方案

为落实中国科学院路院长提出的“跨越创新、持续发展”的发展战略,贯彻新时期办院方针和院党组 2005 年夏季扩大会议精神,2005 年,我台多次召开中长期发展规划及创新三期工作研讨会,会上对《中国科学院党组关于加强科技创新能力建设的决定》、《关于加强创新基地与各单元联合合作的意见》、《关于加强创新队伍建设的指导意见》、《关于推进研究所改革与发展的指导意见》等文件进行了学习,在广泛听取意见的基础上,领导班子经过集体讨论,制定了我台中长期发展规划和创新三期方案,最终确定了单位的发展目标与定位。在 2006 年初的职代会上,职工代表对我台中长期发展规划进行了认真审议。

5.2 继续实行岗位聘任制

为提高科研和管理队伍的整体素质和创新活力,保证队伍的精干高效,2005 年,我台继续贯彻执行“按需设岗、公开招聘、择优聘任、合同管理”的岗位聘任制,完成了科技人员、管理人员新一轮的岗位聘任。通过并实施了“台人员分流实施暂行办法”,对我台有关部门富余人员的合理分流起到积极的作用。

5.3 质量认证审查

年内组织实施了我台开发部门产品的质量管理体系的内审和综合评审,组织了顾客满意度的调查,并于 5 月和 12 月两次顺利通过了由中国新时代质量认证中心进行的监督审核。

5.4 实施信息资源规划项目

信息资源规划项目(ARP)是中国科学院十五信息化建设的重点项目。2005 年是全院所级系统上线验收和推广实施的关键一年。我台对该项目十分重视,相关人员也积极做好数据采集和 IT 的技术支持和组织协调工作,在有关人员的努力下,圆满完成了我台 ARP 系统的网络和服务器的建设,通过了 ARP 项目所级系统的验收工作。

5.5 信息宣传工作

2005 年出版了《简讯》18 期,并对上海天文台主网页信息做到及时更新。建立了“电子台务”管理平台。有关部门积极向上级部门报送信息,其中有两信息刊登在院网页的头条,并有一条被选编入中国科学院《要情》简报,得到路院长的亲笔批示。

6 信息服务工作

信息计算中心努力搞好常规服务、管理和资料交换等工作,完成了《天文学进展》和《上海天文台年刊》的出版、发行工作;完成了两刊物新、老编委会的换届工作。图书馆全年联机编目中、西文图书 160 多册,硕博论文 30 多册,实现了与近 500 家单位的馆际互借以及原文全文传递,荣获“2004 年度 CSDL 的联合联机编目系统”先进单位称号;经过努力,通过兄弟单位的代理,我台科研人员可以全文浏览和下载 IEEE 电子版。计算机组配合做好科技网(上海)从 100M 到千兆网、上海到北京 2.5G 的网络升级工作;购置了二台 Cisco2950 的交换机,新拉了 8 根主干线,新增了 70 多个信息点,并对主交换机进行重新配置以及 VLAN 的划分,提升了信息交换的功能,在信息交流和科研工作中发挥了重要作用。

7 国际科技合作与交流

2005 年,我台继续加强了国际合作与交流,涉及的国家有美国、德国、英国、荷兰、意大利、日本、俄罗斯、韩国等,与我国港台地区也保持了密切的合作关系。全年我台科研人员共出访 88 人次,其中出访三个月以上的 6 人次。短期出访主要以参加国际会议和进行科研合作为主。邀请来台进行科研合作、讲学、访问及参加国际会议的外宾达 117 人次,其中来访三个月以上的为 10 人次;4 名来自美国、德国、英国的客座研究员在我台进行了长期的合作研究。我台中德马普小组的国际科研合作取得了圆满的成功,并将展开进一步的国际合作。

目前我台共承担两项中国科学院国际合作重点项目:中国-欧洲 VLBI 合作研究项目、亚太空间地球动力学研究项目。在院部的大力支持下,这两个项目都平稳而健康地进行,在合作研究、研究生联合培养等方面都取得了重大进展。

在院国际合作重点项目的推动下,2005 年 6 月份亚太空间地球动力学(APSG)国际会议在香港举行。为促进我台与国际天文学界的广泛交流,我台于 2005 年度共举办和协办了三个国际会议:与国际最权威的天文学组织——国际天文联合会(IAU)合作,成功举办了国际天文联合会第 199 号专题学术讨论会;与国际知名天文学组织——欧洲 VLBI 网(EVN)合作举办了欧洲 VLBI 网(EVN)项目委员会工作会议;又协助国家航天局在上海举办了“第二届中国-欧洲空间局关于未来空间领域合作的会议”。

国际合作与交流广泛而深入的展开,大大提高了我台在国际上的影响力。

8 精神文明和创新文化建设工作

8.1 园区改造

完成了佘山激光观测楼顺利建成并投入使用,25m 望远镜观测基地专家综合楼开工建设,1.56m 望远镜辅助楼装修工程全面展开。徐家汇园区实验楼完成招标和设计。

8.2 首获上海市文明单位称号

在全台职工的共同努力下,2005 年我台首次获得上海市文明单位称号。2005 年 7 月 6 日,我台在天文大厦举行了由各支部书记、委员、职工和学生代表共 30 余人参加的上海市文明单位揭牌仪式,上海市科教党委系统文明办副主任张伯安出席揭牌仪式并发表讲话。希望全台职工以此为起点,再接再厉,通过自身的努力和勤奋工作把这一称号保持下去,为建设一个和谐的单位小环境,营造良好的科研环境和创新氛围努力工作。我台开展的“深化创新文化建设——上海天文台精神征集活动”被上海市科教党委授予系统精神文明建设十大优秀创建项目。

8.3 文明班组和文明职工

2005 年我台有 24 个部门或个人获上级机关授予的各类荣誉称号。台工会被上海市总工会授予“上海市模范职工之家”光荣称号,景益鹏研究员获得上海市十大科技精英称号。

2005 年,台党委组织了 2003-2004 年度台文明班组和文明职工的评选、命名和表彰。经各部门推荐申报,台精神文明建设委员会讨论,并经投票和公示,马普小组等四个班组被评选为我台 2003-2004 年度文明班组,景益鹏等 14 位职工为我台文明职工。

8.4 开展“新时期、新要求、新贡献”主题活动

在党员先进性教育活动期间,我台在全体党员和广大职工中开展了“新时期、新任务、新贡献”主题征文活动。通过这一活动把我台党员先进性教育活动与单位中长期科研发展规划制定、贯彻落实院创新三期任务有机结合起来;与单位党的建设、创新文化建设有机结合起来;与单位人才队伍建设、增强自主创新能力有机结合起来,努力营造了一个各部位、各层次互相理解、互相支持,围绕单位目标和谐发展的良好氛围。为发表征文,我们在台网页上辟了专栏、出版了《简讯》专刊。

8.5 加强科普基地建设,开展有特色的科普活动

2005 年我台积极开展了天文科普活动。上海天文博物馆共接待各类游客 22 万人次,其中青少年约 14 万人次。免费接待各类社会团体 35 次共 1250 人。我台科技人员积极参加 2005 年度上海科技节活动,与徐家汇街道和“玫瑰坊”商业街联合举行大众天文科普活动。2005 年我台还与《新民晚报》联合推出每月一次的“星空院线”栏目,主动向广大市民进行天象报道。我台佘山站与松江、金山区的 4 所中学达成结对科普协议。我台“上海网上天文台”年点击率达到 32 万次,发布天文新闻 290 条,总点击数超过 700 万次。

9 需进一步关注的问题

(1) 要进一步组织科研力量,争取承担更多的国家任务,为增强国力提高科技水平贡献力量;

(2) 在科学管理、规范管理和制度建设上还需不断完善,进一步将上海天文台创办成“四个一流”研究所;

(3) 在关键技术部位人才的引进和培养上还须下大力气,特别是要进一步关注 35 岁以下青年科技人员的培养问题;

(4) 加强职工的交流沟通,建设宽松和谐的人文环境。

THE SCIENTIFIC RESEARCH AND TECHNICAL WORK OF SHANGHAI ASTRONOMICAL OBSERVATORY IN 2005

HONG Xiaoyu

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

Abstract

In this paper, the scientific research, technical work and so on of Shanghai Astronomical Observatory in 2005 is briefly reviewed.

Key words knowledge innovation — personal training and introducing — scientific management
— international exchange — civilization

SLR 新星历及其在卫星预报中的应用

张海峰^{1, 2} 张忠萍¹

(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

目前卫星激光测距(SLR)中所采用的 IRV 星历已经使用了近 20 年,近几年来随着对高轨卫星的测距和卫星白天测距的开展以及考虑到今后激光测距技术的发展,需要对 SLR 所采用的星历进行改进,以适应 SLR 发展的需求。从 2006 年 8 月起国际激光测距网(ILRS)将使用一种新的可用于多种目标测距的星历——CPF 星历,该星历不仅可用于人造卫星的激光测距,而且还可用于月球及其转发器等目标的激光测距。该文介绍了这种 SLR 新星历和应用它进行卫星位置台站预报的情况,分析了其预报精度。

主题词: 卫星激光测距 — 卫星位置预报 — IRV 星历 — CPF 星历

分类号: P228.5, P197.5

1 引 言

目前全球各个卫星激光测距站对卫星位置进行预报所采用的星历是 Tuned IRV (Tuned Inter-Range Vector) 标准星历。这种星历已使用近 20 年了,它由国际激光测距服务下属的几个预报中心提供,每天给出卫星在 UTC 零时的一组或多组在准地固坐标系中的位置和速度。各卫星激光测距站以这些星历作为初始值,采用简化的力学模型对卫星运动方程进行积分,计算出卫星各个时刻的位置进行台站预报。每个台站在测距完毕后,需及时向国际数据中心发送测距结果,数据中心综合各台站的测距数据及时提供卫星轨道参数以便更精确地对卫星位置进行预报。

随着卫星激光测距技术以及测距精度的不断提高,其应用需求也在不断扩展,对一些高轨卫星如 Galileo 卫星以及今后发射的 GPS 卫星等进行测距、定轨的应用越来越广泛,需对卫星位置进行精确预报,提供精密星历的必要性也越来越明显。卫星的白天测距可以延长卫星观测的弧段,增加观测圈数,对卫星精确定位具有很好的作用。但白天天空背景噪声比晚上高几个数量级,观测难度比晚上大得多,这就需要提供可用于台站预报的高精度星历。另外,随着今后技术的发展,测距目标不再仅限于地球人造卫星,其范围将会扩展到行星际空间。然而在激光器功率一定的条件下返回的光子能量和数目与目标的距离有关,从距离比较远的目标返回的光子能量和数目就会降低,目标距离越远,观测难度越大。对于地月距离的尺度,目前的激光探测系统每分钟能探测到的返回光子只有几个^[1],然而利用空间激光转发器(Laser

Transponder) 和接收机 (Receiver) 等新设备可将激光测距扩展到绕月轨道或月球表面, 甚至更远的行星际空间。通过转发器返回到测站的信号能量将有很大的改善, 从而提高了测距系统分辨信号的能力以实现目标的精确测距, 在利用这些新设备进行测距时同样需要精度较高的能用于台站预报的星历。

为了适应卫星激光测距技术发展的趋势, 在第十二届卫星激光测距国际研讨会上成立了卫星预报星历研究小组, 并讨论了对 SLR 星历进行改进的方案。经过多年的研究, 该小组为卫星激光测距提供了一套新的预报星历 CPF (Consolidated Prediction Format)。CPF 星历适应了对多种目标进行测距的预报需求, 扩展了当前卫星激光测距站观测目标的类型, 同时也将会促进卫星激光测距技术的发展。

2 Tuned IRV 星历

Tuned IRV 卫星星历采用准地固坐标系, 其基本平面是瞬时真赤道面, X 轴指向格林尼治子午圈与基本平面的交点, Z 轴为地球自转轴。对中等高度卫星, 此星历每天提供一组在 UTC 零时的卫星状态量, 对于低轨卫星如 Champ 每天可提供两组或四组卫星状态量。使用该星历进行台站预报时所采用的力学模型为 18 阶、级地球引力场模型, 日、月摄动根据其简化的进动椭圆轨道模型计算给出, 没有考虑太阳辐射压的影响。

在使用 IRV 星历对卫星运动方程进行积分运算时采用了简化的力学模型, 所谓简化的力学模型就是在进行台站预报时选取了阶数较少的地球引力场模型并略去了某些摄动项, 以便减少计算量, 使得各卫星激光测距站能够对卫星进行快速台站预报。由于数值积分及力学模型的误差, 使得台站对卫星位置的预报存在一定的误差, 只是此项误差目前仍在的测距精度范围之内。对卫星运动方程的求解需在惯性系中进行, 在积分之前需将卫星的初始位置和速度转换到惯性坐标系中, 即通过积分给出的卫星状态量是相对于惯性系的。由于测站坐标采用的是地固坐标系中的大地坐标值 (λ_0, φ_0, H) 或直角坐标值 (X, Y, Z), 所以对于各具体台站在计算卫星的距离、方位角和地平高度时, 应先将通过积分算出的卫星位置使用地球姿态参数转换到以 CIO 为第三轴指向点的地固坐标系中, 利用测站的位置计算出卫星的距离。然后再转换到各台站的站心坐标系中计算卫星的方位角和地平高度。

在使用 IRV 星历进行卫星的预报和测距时还引入时间偏差 TB (Time Bias) 用于描述卫星真实轨道与基于先前的测距数据预报的轨道之间的偏差。数据处理中心在收到各个激光测距站所发送的“标准点”数据后及时计算和更新时间偏差 (TB) 值, 并通过一定的方式发布以便各激光测距站对预报轨道进行修正。各预报台站在进行卫星测距后对数据进行处理就可粗略解算卫星预报轨道的误差。由轨道误差所引起的斜距残差可分为两部分: 即距离偏差 (RB) 和时间偏差 (TB)。可由下列方程解算这两个偏差:

$$\Delta \rho_i = RB + \dot{\rho}_i TB. \quad (1)$$

其中 $\Delta \rho_i$ 为卫星距离的 $O-C$ 值, $\dot{\rho}_i$ 为卫星距离的变化率, 解算出来的时间偏差 (TB) 可用于台站对卫星下一圈的轨道预报进行修正, 以便更准确地对卫星进行测距。

IRV 星历在对卫星进行台站预报中发挥了很好的作用, 在过去近 20 年的卫星激光测距中经过了多次的改进 (包括格式、力学模型以及坐标系统等), 满足了对卫星测距的精度要求。但随着卫星激光测距技术的不断发展、测距的要求的不断提高, 这就需要一种新的卫星星历代

替 IRV 星历来满足将来的卫星激光测距发展需求。

3 CPF 星历

3.1 CPF 星历简介

CPF 星历包含了适用于 4 种不同观测目标的预报:(1)适用于带有激光反射器的地球人造卫星(2)适用于置有激光反射器的月球(3)适用于同步激光转发器(4)适用于异步激光转发器。该星历由国际激光测距服务预报中心提供,每个星历中包含了若干天的具有一定时间间隔在地固坐标系中的目标状态量。由于该星历是采用比较完善的力学模型和轨道计算模型求得的,在精度上已有所提高,在 IRV 星历使用当中所引进的时间偏差(TB)在 CPF 星历中不再使用,从而简化了卫星轨道预报的过程。此外,该星历中还包含了一些如跳秒之类的信息,具有可扩充性。台站对目标进行预报时,只需直接使用该星历进行内插,通过内插直接给出预报跟踪时所需要的目标状态量,而不再需要应用力学模型进行数值积分。对于由相对论效应引起的激光传播路径上的弯曲,CPF 星历为不同类型的目标提供了相对论改正。对于地球人造卫星的台站预报卫星距离无需进行相对论改正,但对于月球或更远的目标进行台站预报时该星历就需要考虑相对论改正。CPF 星历为所观测目标提供的状态量数据之间的时间间隔与目标轨道高度有关,表 1 列出了几种地球卫星 CPF 星历中的时间间隔。可以看出轨道高度越高,状态量数据之间的时间间隔越长。

表 1 几种地球卫星 CPF 星历中的时间间隔

Table 1 The time intervals of CPF ephemeris of some kinds of Earth Satellites

卫星类型	轨道高度/km	时间间隔/s
Champ	470	120
Gfo-1, Starlette	800	180
Topex, Ajisai	1300	240
Lageos1, 2	5800	300
GPS, Glonass	20100	900
Moon	384000	1800

CPF 星历文件内容大致由三部分组成:头文件部分;给定时刻目标状态量部分;结束部分。星历中以 H 开头的行是头文件部分,它包含了星历的提供者、星历的发布时间、目标的代号、球型卫星的质心改正值、星历中目标状态量的时间间隔以及星历的开始时间和结束时间等信息。每一个 CPF 星历文件都是以数字 99 为结束标志,即结束部分。头文件部分与结束部分之间是给定时刻的目标状态量部分,给定的时刻是以约化儒略日(MJD)和一天内的世界时(UTC)秒组成。地球人造卫星的台站预报只需要卫星的位置信息,该部分只列出了在地固坐标系中表示的卫星位置(X, Y, Z)。对于月球或激光转发器,该部分除了给出目标的位置外,还给出了目标的速度以及各项改正(如相对论改正等)。表 2 列出了适用于带有激光反射器地球人造卫星的 CPF 星历的部分内容,表中的前 4 行列出了该星历的有关信息,以数字

“10”开头的行包含了给定时刻的卫星位置(x, y, z)。对于大多数的卫星,每个 CPF 星历文件中都包含了前一天最后若干个(表 2 中为 6 个)卫星历表位置,这有助于对卫星进行零点时刻附近的预报。

表 2 Starlette 卫星的 CPF 星历
Table 2 The CPF ephemeris of Starlette

H1	CPF	1	HTS	2006	6	1	12	6521	starlette	NONE						
H2	7501001	1134			7646	2006	06	01	0 0 0	2006	06	09	0 0 0	180	1 1	0 0 0
H5	0.0750															
H9																
10	0	53886	85320.00000		0	-2803911.606			6249440.882				2956422.787			
10	0	53886	85500.00000		0	-3667053.316			6174439.431				2068533.463			
10	0	53886	85680.00000		0	-4421744.616			5930990.813				1116576.248			
10	0	53886	85860.00000		0	-5049560.426			5524037.551				130138.973			
10	0	53886	86040.00000		0	-5535643.707			4962746.459				-860312.564			
10	0	53886	86220.00000		0	-5868933.291			4260364.675				-1824224.191			
10	0	53887	0.00000		0	-6042326.857			3434010.286				-2731740.459			
10	0	53887	180.00000		0	-6052783.941			2504392.026				-3554485.739			
10	0	53887	360.00000		0	-5901369.949			1495451.535				-4266333.649			
.....																
10	0	53894	86040.00000		0	4406273.090			-2686732.497				5037869.660			
10	0	53894	86220.00000		0	4606718.788			-1464292.217				5378046.384			
99																

3.2 CPF 星历使用时所采用的数学方法

每个 CPF 星历文件中给出了具有一定时间间隔的目标状态量,表 2 列出的星历中的时间间隔为 180s。根据各台站的预报要求通过 Lagrange 内插的方法计算出所需要的时间间隔的目标状态量。上海天文台卫星激光测距站所采用的插值时间间隔,对于近地卫星为 1s,对于 Lageos 等中高轨卫星为 20s。使用 CPF 星历进行内插时采用的是 9 阶 Lagrange 内插公式。Lagrange 插值基函数为:

$$l_k(x) = \frac{(x - x_0)(x - x_1) \cdots (x - x_{k-1})(x - x_{k+1}) \cdots (x - x_n)}{(x_k - x_0)(x_k - x_1) \cdots (x_k - x_{k-1})(x_k - x_{k+1}) \cdots (x_k - x_n)}, \tag{2}$$

插值多项式为:

$$L_n(x) = \sum_{k=0}^n \gamma_k l_k(x). \tag{3}$$

其中 n 为阶数, $x_0, x_1 \cdots x_k \cdots x_n$ 为星历中的历元时刻, $\gamma_0, \gamma_1 \cdots \gamma_k \cdots \gamma_n$ 为目标在星历中历元时刻的状态量。

利用星历中的目标状态量,分别对其进行内插给出台站预报所要求的目标状态量。内插时为达到最好的精度,要求第一个插值点或最后一个插值点分别要与序列中的第一个点或最后一个点相隔若干个点,比如有 20 个序列点,对于 9 阶 Lagrange 内插公式,按上述的要求第一个插值点应至前位于第 5 个和第 6 个序列点之间,最后一个插值点至后应位于第 15 个和第 16 个序列点之间,也就是说所有的插值点应位于第 5 个与第 16 个序列点之间。

另外,插值公式的选取也要使得插值结果的精度要与星历的精度相当。Lagrange 内插的