

未来 10 年我国天体测量研究方向的建议

金文敬^{*†} 李东明^{*‡} 唐正宏^{*†} 王叔和^{*†}

(^{*} 中国科学院国家天文观测中心,北京 100012; [†] 中国科学院上海天文台,上海 200030;

[‡] 中国科学院紫金山天文台,南京 210008)

[摘要] 以美国海军天文台为例,阐述了天体测量研究工作所取得的成果。结合我国天体测量工作 50 年来取得的成绩和已有的研究基础,提出了未来 10 年我国天体测量研究课题的若干建议。

[关键词] 天体测量,空间技术,参考架

1 USNO 的基本研究课题和 90 年代研究的新进展^[1]

美国海军天文台(United States Naval Observatory, USNO)建立于 1832 年,位于美国首都华盛顿市,直属美国国防部,早期的任务是为美国海军提供标准和频率标准,航海、航空天文历书。现在是以天体测量为主要发展方向,相应开展天体物理研究,以长期支持国防和国家建设的需求为特色的天文台。USNO 本部设有应用天文、时间服务、地球自转、天体测量 4 个研究室。同时在旗杆镇观测基地进行天体测量,光度、光谱测量,仪器研制和理论研究等工作^[1,2]。

1.1 视差计划

61"天体测量反射望远镜在 1964 年 3 月开始照相的视差计划。当时观测星等范围为 $10 < M_v < 16$ 。1985 年中正式用 CCD 作暗星(20 星等)的视差观测。照相方法测定视差的精度为 $\pm 4 \sim 2 \text{ mas}$,而用 CCD 测定视差的精度达 $\pm 1 \text{ mas}$,最好结果为 $\pm 0.5 \sim 0.7 \text{ mas}$ 。它的最大贡献是在赫罗图上证实了亮度小、高速度晚型亚矮星族的存在。而亚矮星中 F—G 星可以作为星系的球状星团的距离校准器,它们也是研究核聚变的天体,所以其视差测定的工作十分重要。

依巴谷星表中暗于 11 等的恒星只有 2 700 多颗,由于观测时间仅 3 个月,视差精度好于 10% 的仅占总数的 1/4 颗。USNO 视差工作意义在于:它能提供暗至 20 星等的暗星视差。即使第 2 个天体测量

卫星(GAIA)上天也只观测到 15 等的恒星。地面测定视差已达亚毫角秒量级精度。虽然 HST 的天体测量组认为用精密感知器(FGS)可以测定视差值的精度到达 $\pm 0.5 \text{ mas}$,但 FGS 能测定多少星的视差很难预计。

1.2 天球参考架计划(早期称为 Radio Optical Reference Frame, RORF)

这个研究课题是美国海军天文台、海军研究实验室、宇航局哥达德飞行中心、德国汉堡大学、澳大利亚科学院等多个单位的国际合作项目。1984 年 IAU 射电和光学参考架工作组提出了 233 个河外射电源的候选表。在此基础上,1988 年美国提出了 RORF 计划,准备精确测定 400 多个射电源的射电和光学位置,以构成射电参考架,并与光学参考架联系。该计划包括以下两部分内容:

(1) 射电参考架的建立

测定地球指向参数、监测板块运动、测定射电源位置的 VLBI 观测资料均可用于射电参考架的建立。1997 年 23 届 IAU 大会上通过的国际天球参考架(ICRF):608 个射电源的位置。其中包括 212 颗定义源,294 颗候选源和 102 颗其他源。源坐标精度为 $\pm 0.3 \text{ mas}$,参考架的指向稳定在 0.02 mas 。建立 I-CRF 参考架是 RORF 和其他 VLBI 观测计划在 90 年代对天文学最大的贡献,自 1998 年 1 月 1 日起在各个领域使用。为了把 ICRF 提高至 μas 精度需要监测射电源结构的变化和测定其自行。目前 VLBI 的测地和天体测量网仍在不断观测新的射电源,以

便加密现有的 ICRF。

(2)多波段参考架联接的研究

天文、测地、空间研究等领域广泛使用的仍然是光学参考架。依巴谷星表已于1998年1月应用。依巴谷光学参考架与 ICRF 之间的联接精度仍需要检验和不断改进。在 RORF 计划中,美国海军天文台和汉堡大学进行合作。他们利用大望远镜对河外射电源的光学对应体进行观测。用汉堡的 23 cm 和 UNSO 的 8" 天体照相机观测二级参考星。预期 480 颗河外射电源光学对应体的定位工作要至 2001 年才能完成,光学对应体的位置精度为 5—31 mas, 平均为 15 mas。

此外,USNO 61" 望远镜开始对 RORF 中 170 颗河外射电源进行红外观测,目前已观测 100 多个源。同时还研究河外源的红外辐射中心与光学辐射中心的一致性,是否存在偏离。

1.3 光学参考架的建立

一本光学星表表征着一个光学参考架。为了减小恒星自行误差的影响和提高星位精度,在间隔十几年后需要有新的观测星表。再经过编制得到新的编制星表。USNO 在 80 年代进行的观测星表有:

(1) Pole-to-Pole 计划。6" 和 7" 子午环分别在华盛顿和新西兰进行了 10 年观测(1985—1996)。其科学目标是要得到一本全球的观测星表。特别是 6" 子午环的观测纲要中 1/3 星是该仪器运行 100 年以来曾多次观测过的,有利于测定这些星的自行。此星表正在归算之中。

(2) TAC 星表。8" 双筒照相机望远镜于 1977—1986 年观测得到的星表。极限星等为 12 等,每平方度约 30 颗星,赤经和赤纬方向精度分别为 86 mas 和 91 mas,平均历元为 1 982.5。与重新处理后的 AC 底片结合,自行精度为 2.5 ~ 4.0 mas/yr,称为 TAC1.0 星表。

90 年代进行的观测星表有:

(1) UCAS-S 计划。8" 双筒照相机望远镜安装 4K × 4K 的 CCD 后搬至 CTIO,极限星等为 16.0 mag。其科学目标是在南天建立高精度、高密度的天体测量星表,已经发表 UCAC1.0。

(2) 天体测量标准区的建立。USNO 是 SDSS 合作计划中 8 个合作单位之一,为了测定 SDSS 的 2.5 m 望远镜的象场畸变,用 FASTT 建立了赤道带 16 个天体测量标准区(7°.6 × 3°.2),总共 61 591 颗星,位置精度为 ± 50 mas,星等误差 ± 0.011 mag。

此外还对以前的观测底片作重新量度和重新归

算: AC 底片重新量度后得到 AC2000 星表;与第谷星表相结合求自行(精度达 2—3 mas/yr)而得到 ACT 星表,已于 1997 年发表。用第谷星表、UCAC-S 和重新处理后的 CPC2 结合可以改进南天自行精度至 2 mas/yr。

海军天文台的编制星表有:(i) 华盛顿基本星表(WFC)。这是由华盛顿子午环观测编制的基本星表。(ii) 华盛顿自行计划。为了今后若干个自行工作计划,USNO 把 160 个老的、包括若干新的天体测量星表格式进行了标准化。所有星表归算至 HIP 系统和 J2000 时的位置,正在研究这些星表的系统差、星等、色差等。(iii) 红外恒星源位置表。IRAS 点源星表包括 250 000 颗点源,其位置精度为 10"。USNO 通过各类恒星星表的认证,已得到 33 678 颗星的红外源表,内部精度为 0".2。目前还在进一步做红外星表的编制工作。

此外发表了包含星数最多(488 006 860 颗)、观测星等最暗的(21.5 mag)的 USNO A2.0 照相星表。这些星表在天文、测地、空间研究中广泛使用。如在射电源光学对应体和太阳系小行星的精确定位中作为参考星,在宇宙飞船和巡天观测中作为导星星表或地面和空间望远镜的输入星表。

1.4 双星的观测和研究

USNO 的 26" 折射望远镜主要用于双星的观测,1990 年以后安装了谱斑干涉仪,分辨率为 0".25,能观测星等差至 3.5 mag 的 10 等左右的双星,已发表 2 416 颗双星的观测结果。USNO 的谱斑干涉仪还安放在 McDonald 天文台 2.1 m 望远镜上,对依巴谷星表中 846 颗新的和有怀疑的双星进行观测研究。双星观测也在光学干涉仪上进行:改进分光双星的轨道;发现新的双星。

90 年代双星观测计划的重要贡献是 WDS 新版本(1996.0)和双星轨道星表新版本的出版。这些资料曾为依巴谷星表中双星和多星系统的归算服务。对第二个天体测量卫星和巡天计划 SDSS 的输入星表中星系、双星、多星等的鉴别,对于双星的物理特征研究,如双星之间质量交换、双星的演化都提供了必要的天体测量参数。

1.5 太阳系天体的观测和研究计划

这是 USNO 和 JPL 的合作计划。为太阳系行星的探测计划(如木星的 Galileo 飞船),出版 DE 系列的天文历书,提供对太阳系行星及其卫星的精确位置。除空间计划需求外,还要预测小行星与地球卫星和地球的撞击事件(当前近地小行星的观测和研

究已成为天体力学的热点课题)。USNO的主要观测仪器是子午环,FASTT。对于较暗的卫星以及气体行星的卫星用61"望远镜。这些观测资料也是欧洲和日本掩星观测中心预报掩星事件的资料之一。90年代USNO的最大贡献是外行星位置和几颗大质量小行星位置的确定,DE200、DE403等高精度历书的出版,同时发现了许多新的小行星。

2 50年来我国天体测量的发展^[2]

50年来,在国家自然科学发展规划的支持下,特别是70年代后国家自然科学基金的资助,使我国的天文学有了很大的发展。天体测量工作也不例外,它的发展包括了两个阶段:

2.1 1950—1980年,以建立独立自主的时间服务系统为主的、酝酿其他天体测量工作的时期

1950年徐家汇观象台被中国科学院接管后,使大地测量部门在野外作业中采用我国发播的BPV时号。1957年是时间服务发展的关键性的一年,一是军事测绘和大地测量部门提出要建立我国的时间基准,即用我国的天文观测确定世界时;二是1957—1958年国际地球物理年的实施。为此我国添置许多仪器。建立了以上海天文台为首的、包括紫台、北台、武汉测地所、陕台和云台在内的时间服务网。1968年以后开始了我国独立自主设计天体测量仪器的年代。首先研制成功I型和II型光电等高仪,它们投入工作比法国、日本光电等高仪开始试观测还早7年^[3]。接着又研制成功了摄影天顶筒。并酝酿研制子午环^[4]。设计1.56m天体测量望远镜等。

我国的世界时测定工作在国际上得到很高的评价,第18届IAU的地球自转专业委员会主席Paquet,国际极运动服务主席Yokoyama和国际地球自转联席主席Wilkins对中国的世界时观测都有详细的评述;在1982年,该工作获得了国家自然科学奖二等奖。

2.2 1980年至今,新技术在天文测地的应用和发展,天体测量部分优势领域显示的时期

这一时期,我国的天体测量发展成两部分:天文地球动力学部分得到了快速发展,建立了VLBI,SLR和GPS的观测网,在基线和台站位置的精确测定,板块运动和中国地区的地壳形变研究取得了成果。其中天体测量部分(对应于USNO的天体测量工作)在依巴谷星表问世后受到了较大冲击,但在前期的部分优势领域也有所表现:

(1)星表的观测计划与研究

70年代以来我国先后发表了20多部观测星表以及4部综合星表:授时赤经星表、综合等高星表、光电等高总星表和测地星表。这些都属于亮星星表,星等至7.0mag。90年代光电等高仪改为光子计数,观测星等至11.4mag,北台和陕台两架光电等高仪分别在1992年和1995年移至阿根廷的圣胡安和俄罗斯的依尔库茨克,发表了CPASJI^[5]、SIPAI等星表。后者是第一部无赤纬盲区的等高星表^[6],它们的位置精度为 $\pm 0''.07$ 左右。我国的授时赤经星表、综合等高星表、光电等高总星表为建立FK5参考系作出了贡献。讨论了星表误差对地球指向参数测定的影响。此外还编制了天琴座RR变星自行表、疏散星团成员表和736对目视双星历表等。

射电星的光学位置的精确测定是联系ICRF和光学参考架的方法之一,我国用光电等高仪和40cm折射望远镜测定了约200多颗射电星的光学位置^[7]。利用佘山40cm望远镜长期积累的照相底片,改进了昴星团和鬼星团天体测量标准天区内恒星的自行^[8]。近来开始用1.56m望远镜观测75颗河外射电源的光学对应体,并与乌克兰尼古拉耶夫天文台合作,用轴向子午环(AMC)测定其二级参考星。

在数字图像处理研究方面也引起天测界重视,已有良好的开端^[9]。

(2)视差观测计划

利用佘山40cm折射望远镜,在10个天区用照相方法测定了15颗星的视差,精度为10mas,该工作被Yale大学编制新版恒星三角视差星表(包括7562颗星)采用。

由于各种原因,如1.56m的CCD视场仅 $12' \times 12'$,暗星的视差工作和位置的精确测定的两项观测计划几乎处于停止状态。

(3)参考架的建立与理论研究

上海天文台的VLBI从1987年11月起先后参加了美国宇航局的地壳动力学计划及宇航局的固体地球计划。尽管每月只观测1—2次,也作了几次RORF南天观测。在建立ICRF起了一定的作用。对射电参考架建立的方法进行讨论,用弧长差法建立了射电参考架^[10],轴的指向精度好于0.01mas。

在天文参考系的研究中,首次明确给出了广义相对论框架下参考系、参考标架、坐标系和天球的定义,并对这些新概念作了全面阐述。在论证长度的天文单位时,指出在广义相对论框架下长度和时间

的天文单位都是本征单位,它们应与坐标系的选择无关^[11]。

(4)天体测量参数在研究银河系结构和运动中的应用

用FK5和AGRU自行研究银河系自转的奥尔特常数和古尔德带,用河外射电源的视自行推算岁差常数^[12],用地面资料及依巴谷观测资料研究银河系结构和运动^[13]都得到了较好的结果。

(5)太阳系天体的观测及研究

小行星的发现和轨道改进工作是我国天体力学界优势项目之一。时纬仪器观测时期,曾精确测定了大行星的精确位置,以研究星表分点和赤道的改正。近几年注意利用精确天体测量资料,在建立行星的卫星的精密理论工作中取得了很好的结果^[14]。在“行星和地球动力学特性的比较研究”中,通过类地行星内部结构模型比较,定出了火星平均惯量矩系数的取值范围以及火星核的大小^[15]。采用激光测月资料研究月球的运动和物理特征,如月球的自由天平动,月球引力位和内部结构等。

3 对我国未来10年天体测量研究方向的若干建议

美国的天体物理在世界上名列前茅。美国的天体测量也强大到足以和它的天体物理发展匹配。我国天体物理发展能否完全建立在USNO的天体测量工作基础上?USNO的工作起步常常领先,发表成果却很慢。网上得到的最新天体测量资料不一定能满足我们的需求,因此在发展我国天体物理的同时,天体测量也需要有相应的发展。后依巴谷时代天体测量在光学工作方面,包括依巴谷星表的扩充和加密以及依巴谷星自行的改进;在射电参考架方面包括新射电源的观测,参考架稳定性的研究。大量暗星的精确位置、自行、光度精确值的获得和暗变星的发现,将使银河系结构的研究有更大的样本,更丰富的内容。太阳系雷达、激光测距资料和行星飞船的观测资料,促进了太阳系天体的测地和物理参数的研究。根据上述国际研究的动态和我国实际情况,建议把下列研究课题作为我国天体测量中长期的发展方向。

3.1 天球参考架研究

(1)ICRF的加密。利用上海、乌鲁木齐VLBI系统(25 m天线)、VLBI流动站,在和国际合作条件下,可以监测源结构的变化,特别是结构指数为4的射电源;可以用较差方法确定北天2118致密射电源星

表中新的射电源位置,用于ICRF的加密。

(2)暗天体参考架的观测研究。光学参考架的扩充在我国已显得很重要,保证大科学工程LAMOST的顺利实施是天文学界首要任务。该望远镜的直径等效于4 m,在1.75 m直径的焦面上用4 000根光纤同时观测星系和恒星的光谱,其观测极限星等为21.5等。有关的天体测量工作主要有3项:

(i)建立若干个天体测量标准区,以检测望远镜指向不同天区时焦面上的光纤位置计量系统的畸变。

(ii)利用国际上现有的数字巡天资料和天体测量星表提供LAMOST输入星表资料。此工作的主要内容是各类源的检测、分类、定位、测光和星等一光谱型误差研究等。

(iii)结合LAMOST的光谱、视向速度观测资料,观测与汇总大样本的恒星天体测量资料用于银河系结构和运动的研究。

即使在21世纪初第2个空间天体测量卫星上天(如FAME、GAIA等),其极限星等也只有15—16等。地面观测在暗天体位置精确测定方面仍然起着重要作用,并与空间卫星的观测相互补充。

(3)各种参考架间的连接研究。参考架以观测波段来分有红外、光学和射电参考架等;以运动特征来分则有运动学和动力学参考架。依巴谷参考架与ICRF的连接随着时间的推移误差将越来越大,所以在用联线干涉仪测定射电星的射电位置的同时,用CCD测定射电星、射电源光学对应体、太阳系某些天体的精确位置仍是天体测量的前沿课题。我国应继续这方面的工作。

3.2 天体测量学参数在银河系结构和运动研究中的应用

恒星的天体测量参数,如位置、自行和视差是研究银河系结构和运动的基本参数,如利用O—B5、K—M星可研究银河系的晕及其运动。天体测量参数也是研究星系、星团结构和运动的要素。这些参数还间接地提供了恒星的其他物理参数,如质量、绝对星等和角直径等。大样本的CCD天体测量将同时给出测光结果。从变星的周期和光变幅度大小可研究恒星内部的活动过程和激发机制。

3.3 太阳系天体的运动和物理特性研究

21世纪人类将重新登上月球,创建月球观测基地。也将登上火星,目睹火星的风貌。“神州”号的发射成功,是我国发射载人飞行器跨出的重要一步。CCD天体测量的发展,使人们能观测太阳系中

更暗的卫星和近地小行星,为今后安全发射新的飞船和预测近地小行星及空间垃圾撞击地球的事件提供资料。主要课题的内容:(i)近地小行星和空间目标的监测研究;(ii)大行星及其卫星的测地和物理特性的研究。

为了配合我国天体物理的发展,完成上述任务,建议在2001年以前将南方观测基地的1.05m望远镜装备 $6 \times 2048 \times 2048$ CCD,投入这方面的观测研究工作。一台极限星等暗于16等、高精度的子午环与之配合^[16]。同时开展国际合作。建议1.56天体测量望远镜继续进行暗星视差的测定。

4 结束语

天体测量是天文学中最早发展的一个分支学科,也是现代天文学发展的基础之一。依巴谷卫星发射成功,曾有人误解这是地面天体测量的结束,实践表明地面天体测量与空间天体测量是相辅相成,缺一不可的。现在高精度的地面观测已向暗天体发展至18 mag,甚至更暗。而波段也从光学发展到红外、射电。天体测量有其本身的学科方向。如天体测量参数的精确测定,包括测定的理论、方法和资料归算等。当今各个学科的交叉已成了学科发展的新阵地,因此天体测量与天体物理、天体力学的结合成为发展的新方向。

我国的天文学也是由天体测量发展起来的,早

在南宋就有天文图碑,出现许多著名的天文学家如祖冲之、郭守敬等。50年以来,我国天文学有着飞跃的发展。各天文台、各大学都制定了发展方向。在进入创新工程体系的今天,参考USNO经验,组建我国的天体测量研究团组已成为当前必要的举措,只有这样才能在21世纪初把我国天体测量事业推上一个新的台阶。

参 考 文 献

- [1] USNO. Annual Reports (in BAAS), 1996—1999, 28—31.
- [2] 国家自然科学基金委员会. 天文学. 北京: 科学出版社, 1997, 28.
- [3] 李东明等. 等高方法及在基本天体测量中的应用. 北京: 科学出版社, 1983.
- [4] 冒蔚等. 子午天文方法. 北京: 科学出版社, 1987.
- [5] Lu lizhi et al. A&AS, 1996, 118:1.
- [6] Xu Jiayan et al. A&AS, 1998, 132:233.
- [7] Hu Hui et al. A&AS, 1996, 116:495.
- [8] Wang Jiayi et al. A&AS, 1995, 113:419.
- [9] Lu Chunlin. A&AS, 1993, 275:349.
- [10] Li Jinling et al. A&A, 1995, 303:276.
- [11] T. Y. Huang et al. A&A, 1994, 298:629.
- [12] Xu Tongqi et al. A&A, 1997, 318:653.
- [13] Miyamoto M, Zhu Zi. AJ, 1998, 115:1483.
- [14] Taylor D B, Shen K X. A. &A, 1988, 200:269.
- [15] Zhang C Z. Earth, Moon, and Planets, 1998, 76:127.
- [16] Jin Wenjing et al. Earth, Moon, and Planets, 1996, 73:259.

SUGGESTIONS ON ASTROMETRIC RESEARCH FIELD IN CHINA IN NEXT DECADE

Jin Wenjing*[†] Li Dongming*[‡] Tang Zhenghong*[†] Wang Shuhe*[†]

(* National Astronomical Observatory, CAS, Beijing 100012; † Shanghai Astronomical Observatory, CAS, Shanghai 200030;

‡ Purple Mountain Observatory, CAS, Nanjing 210008)

Abstract With the development of space techniques such as VLBI, SLR, GPS etc. and the application of new terminal equipment, the new progress of astrometric research work in the world has been obtained. In this paper this achievement is briefly described with the research work of the United States Naval Observatory as an example. Some astrometric research projects in China in next decade are proposed based on the achievement and research basis in past fifty years.

Key words Astrometry, space techniques, reference frame, fundamental catalogue