

文章编号: 1000-8349(2006)02-0100-13

第二代天体测量卫星及后依巴谷 地面天体测量的进展

金文敬¹, 李东明², 夏一飞³, 陈力¹, 朱紫³

(1. 中国科学院 上海天文台, 上海 200030; 2. 中国科学院 紫金山天文台, 南京 210008; 3. 南京大学 天文系, 南京 210093)

摘要: 简述了后依巴谷的天体测量工作。首先给出了第二个天体测量卫星 Gaia 的最新进展、最近提出的 JAMSE 和 OBSS 计划的简介, 以及包含天体测量内容的 SIM PlanetQuest 计划的情况; 叙述了多波段天体参考架的建立和维持, 特别是依巴谷星表向暗星方向的扩充和数字巡天, 以及其他地面观测计划, 如双星和聚星、太阳系天体的观测等; 介绍了天体测量与天体物理结合的几个研究课题的进展; 最后对我国自然科学基金会“十一五”天体测量优先发展的方向与内容提出建议。

关键词: 天体测量学; 后依巴谷天体测量; 综述; Gaia; 数字巡天; LAMOST

中图分类号: P129 **文献标识码:** A

1 引 言

依巴谷卫星的发射开辟了空间天体测量的新纪元。随着依巴谷星表的发表, 20 世纪末各国宇航局、空间研究所和天文台纷纷提出第二代天体测量卫星计划, 如 Gaia、DIVA (Deutsches Interferometer für Vielkanalphotometrie und Astrometrie)、FAME (Fizeau Astronomic Mapping Explorer) 等, 得到批准和正在进行的有 Gaia 和包含天体测量内容的 SIM PlanetQuest (以前称 Space Interferometer Mission, SIM) 计划。

由于卫星寿命 (3~5 yr) 和星载望远镜口径的限制, 空间天体测量不可能替代所有的地面观测。地面望远镜在暗的晚 M 型矮星、白矮星和棕矮星、长周期双星和聚星、天体密集星团观测以及地面台站联网观测太阳系快速运动的天体方面仍发挥着重要作用。当前已进入对天体的多波段观测阶段, 与观测相对应的波段有: γ 、X、紫外、光学、红外、亚毫米和射电, 因此多波段参考架的建立和维持成为天体测量的研究任务之一。已建立的射电、光学和红外

收稿日期: 2005-04-14; **修回日期:** 2005-11-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10333050、10373021); LAMOST 工程资助项目 (00BJK003); 973 资助项目 (G1999075406); 中国科学院知识创新重要方向资助项目 (KJCX2-SW-T1)

参考架正在扩充和改进,其他波段参考架也在建立之中。众所周知,依巴谷星表仅包括亮于 12.4 mag 的 12 万颗恒星,因此向暗星方向扩充是后依巴谷的首要任务,为此,先后发表了 Tycho-2、UCAC2 (US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog in version 2)、GSC2.3 (Guide Star Catalog in version 2.3)、USNO B1.0 (USNO-B Catalog in version 1.0) 以及 SPM3.3 (Southern Proper Motion Catalogue in version 3.3) 和 NPM2.0 (Northern Proper Motion Catalogue in version 2.0) 等星表,同时也开始用 CCD 进行局部巡天,如 SDSS (Sloan Digital Sky Survey)、QUEST (Quasar Equatorial Survey Team) 天琴 RR 型变星巡天、WOCs (WIYN Open Cluster Study) 计划等。除此以外,双星和太阳系的观测也是天体测量的观测和研究领域。

现在对天体的研究已进入天体测量参数(位置、自行、视差)与非天体测量参数(视向速度、光度、元素丰度等)相结合的阶段,在暗天琴 RR 型变星、疏散星团、银河系翘曲、矮等轴椭圆伴星系的瓦解和并合、天体物理感兴趣的区域(恒星形成区、卡普坦选区、煤袋天区等)以及银河系暗晕物质的检测等方面相应的研究都有了很大进展。

总之,后依巴谷地面天体测量的特点是:(1) 观测仪器已不仅限于子午环和小口径的天体照相望远镜,也有 1 m 以上大口径的天文望远镜,接收部件都采用 CCD;(2) 观测方式采用漂移扫描和多波段的相对观测,同时进行天体的定位和测光,有时还进行光谱观测;(3) 课题研究的资料不仅采用天体测量参数,而且采用非天体测量参数,对天体进行两者结合的研究。

2 第二代天体测量卫星

20 世纪末欧洲 ESA 和美国 JPL 分别提出了第二代天体测量卫星 Gaia 计划和包含天体测量内容的 SIM PlanetQuest 计划。

(1) Gaia

Gaia^[1] 卫星最迟于 2011 年底发射,运行时间 5 yr,它测定天体测量 5 个参数的精度均可达到 $10 \mu\text{as}$,故称为微角秒天体测量(在最初的设计中,每架天体测量望远镜都是一个 Fizeau 干涉仪,所以全称为 Global Astrometric Interferometer for Astrophysics,简称为 GAIA,正式设计时已不采用干涉方式,现以 Gaia 表示)。

Gaia 包括 3 个望远镜,其中 2 个是天体测量望远镜,以便同时观测两个不同的天区;一个为分光望远镜,用以测定天体的视向速度。两个天体测量望远镜采用 $1.4 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 长方形的透镜,焦距 46.7 m,两个视场方向的夹角为 99.4° (依巴谷为 58.5°)。焦平面的大小为 $0.83 \text{ m} \times 0.60 \text{ m}$ (1.02×0.74 平方度),在焦平面上安放了 17 排,每排各 10 个 4500×1966 像素的 CCD,每像素大小为 $10 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$ ($44.17'' \times 132.5''$)。拼接的 CCD 分 3 个区:天空测绘仪、天体测量区(天体测量的视场为 0.44 平方度)、宽带光度计($\lambda = 350 \sim 1000 \text{ nm}$)。观测采用漂移扫描方式,扫描速率为 $120''/\text{s}$ 。分光望远镜采用 $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 的主镜。Gaia 卫星的轨道在日地系统的 L_2 处,绕自转轴旋转的周期为 6 h,自转轴与卫星至太阳连线之间的夹角为 50° (依巴谷为 43°),并以约 70 d 的周期作进动。它的完备星等、极限星等和精度等指标与依巴谷计划的比较列于表 1。

表 1 表明, Gaia 观测的天体数目约是依巴谷的 10^4 倍,位置精度也提高 100 倍,观测的天体亮度约为后者的 $\frac{1}{1000}$ 。

表 1 Gaia 与依巴谷计划的比较^[1]

	依巴谷	Gaia
极限星等 /mag	12	20
完备星等 /mag	7~9	20
星数	118000	25 × 10 ⁶ ($V < 15$ mag) 250 × 10 ⁶ ($V < 18$ mag) 1000 × 10 ⁶ ($V < 20$ mag)
密度 / 平方度 ⁻¹	3	25000
极限距离 /pc	1 k	1 M
类星体	0	约 5 × 10 ⁵
星系	0	10 ⁶ ~10 ⁷
位置精度 / μ as	约 1000	4 ($V = 10$ mag) 10 ($V = 15$ mag) 200 ($V = 20$ mag)
天体个数 自行精度 < 0.5 km/s	1939	44 × 10 ⁶
自行精度 < 1 km/s	7185	85 × 10 ⁶
自行精度 < 5 km/s	53538	300 × 10 ⁶
天体个数 视差精度 < 0.1%	0	1 × 10 ⁶
视差精度 < 1%	168	20 × 10 ⁶
视差精度 < 10%	20870	200 × 10 ⁶
视向速度 / km·s ⁻¹	0	1~10 ($V < 17$ ~18 mag)
波段	B 和 V	5 波段 ($V < 20$ mag)
观测计划	预选	全天

(2) SIM PlanetQuest

SIM PlanetQuest 虽然不是巡天的专用天体测量卫星,但是它涉及微角秒天球参考架的建立。在“未来 10 年天体测量的发展”一文中已介绍了 SIM 的结构^[2],在此不再赘述,仅简要介绍一下 SIM 的天体测量内容。

SIM 将给出 3000 颗全天均匀分布的亮于 13 mag 天体的网络星表,其位置精度为 4 μ as,比 ICRF (International Celestial Reference Frame) 基准源的精度提高了 2 个量级。这些星每年观测几次,卫星运行 5 yr,最后可得到全球解。该星表的观测任务还包括了 50~100 颗类星体 (约 17 mag),以便与 ICRF 联系,这是 SIM 计划中的天体测量部分。在 15° 大视场中对每个目标星观测时,平均周围有 12 颗网格星。各个目标星的视场相互重叠,重叠区中至少有 4 颗网格星,以便与 SIM 的网格相联系,从而得到目标星的天体测量参数。Fey 等人^[3]初步选择了银道南北各 25 颗最亮 (视星等 $m_v \leq 18.0$ mag),以及天体测量质量高的源作为 SIM 与 ICRF 的联系。SIM 的发射时间一再延迟,已从原定的 2004 年延迟至 2011 年^[4]。

除此以外,最近日本提出发射红外的天体测量卫星 JASMINE (Japan Astrometry Satellite Mission for Infrared Exploration) 计划^[5]。它将测量亮于 14 mag 的红外源位置、视差和自行,精度分别为 10 μ as 和 10 μ as/yr,预计将在 2014 年发射。

NASA 的“起源计划 (origins program)”共收到 26 份下一代空间计划的建议,2004 年 7

月 29 日它批准了 9 份建议进行预研究, 其中包括 USNO (United States Naval Observatory) 和 JPL (Jet Propulsion Laboratory) 联合提出的 OBSS (Origins Billion Star Survey) 计划^[6], 这是一项涉及天体测量和天体物理的空间计划。OBSS 卫星的轨道在日地系统的 L_2 处, 绕自转轴旋转的周期为 1 d, 绕太阳和卫星的连线有约 20 d 的进动。在 20 d 中将扫过 70% 的天空, 在 5 yr 内每颗星将观测约 6600 次。OBSS 的观测仪器是一架焦距为 45 m、由 3 个消像散透镜组成的 3 口径望远镜, 视场为 $1^\circ \times 1^\circ$, 在焦面上安放了 29 个 4096×670 CCD。OBSS 将观测目视星等范围为 7~20 mag 的 1×10^9 天体的位置、视差、自行、光度及其变化和光谱。在 14 mag 时天体测量的精度为 $10 \mu\text{as}$, 视向速度的精度为 14 km/s。OBSS 的科学目的是研究银河系的结构和动力学、恒星的光度和年龄, 检测巨大的行星和棕矮星以及太阳系天体(如柯伊伯带和海外天体等)。

3 后依巴谷地面天体测量计划

与空间天体测量相比较, 地面天体测量虽然观测精度低很多, 但也不可忽视。它的优势是: 有丰富的暗星观测历史资料; 投资少, 见效快, 安排灵活; 特别是在 CCD 测量技术得到广泛应用后, 对于空间测量, 更具互相补充的作用。以下分别叙述现在各种地面观测和研究计划。

3.1 多波段参考架的建立和维护

尽管依巴谷星表精度很高, 但是仅 12 万颗星, 平均密度为每平方度 3 颗, 因此不能满足天文学家的需求, 对银河系和星团的研究、小视场中射电源观测的二级参考星表、宇宙飞船的导航、地面望远镜光纤观测的正确安放、未来天体测量卫星观测的输入星表等都需要高密度的天体测量参考星表, 因此依巴谷星表向暗星方向扩充是后依巴谷天体测量的重要工作之一。按特点不同, 星表可以分为: 依巴谷的扩充星表 (Tycho-2、UCAC2)、深空天体测量星表 (GSC2.3、USNO B1.0) 和基于河外星系天体测量星表 (SPM3.3、NPM2.0), 当然还有局部天区的数字巡天, 以下简要介绍这些工作。

(1) Tycho-2

Tycho-1 包括 1×10^6 颗星在 J1991.5 时的位置。对亮于 10.5 mag 的星, 其位置和自行精度分别为 25 mas 和 25 mas/yr, 而对于全部星, 自行精度为 40 mas/yr, 由此可见, 自行误差太大, 自行数据已无意义。尽管它在观测历元时的位置误差比 ACRS (Astrographic Catalogue Reference Stars)、PPM (Position and Proper Motion) 等星表的位置精度好一个量级, 但是由于自行误差较大, 其位置精度迅速下降。

Tycho-2^[7] 与编制 Tycho-1 星表所用的资料不同, 在处理时, 采用了单光子重叠技术。使原来 Tycho-1 中的一半暗星都得到了更好的天体测量和测光结果, 极限星等暗 0.4 mag (约达到 12.0 mag), 星数增加 2.5 倍, 可检测的双星间距由原来的 $2''$ 减小至 $0.8''$, 自行由观测历元相差约 85 yr 的 AC (Astrographic Catalogue) 底片与 Tycho-2 的观测推算得到。最后得到亮于 12.0 mag 的 2539913 颗星 (平均密度在银道面上为每平方度 150 颗, 在银极为每平方度 25 颗的位置和自行, 精度分别为 7 mas ($V < 9$ mag, 相应历元为 J1991.25) 和 2.5 mas/yr。亮于 9 mag 星的测光精度为 0.013 mag。

(2) UCAC2

UCAC2^[8] 包括了 1998 年 1 月~2002 年 9 月 USNO 0.2 m 双筒天体照相仪的全部观测, 覆盖了 86% 的天区, 给出了 7.5~16 mag 的 48330571 颗源 (大部分为恒星, 对于 8 mag 或更亮的星数据是不完备的) 在 J2000 时的位置和自行, 平均密度为每平方度 1360 颗。对 $V = 10\sim 14$ mag 的星, 位置精度为 15~25 mas, 已接近于依巴谷星现在的位置误差, 而对 $V = 16$ mag 的星, 精度为 70 mas, 系统误差为 5~10 mas。对 $V \leq 12$ mag 的星, 自行精度为 1~3 mas/yr, 而 $R \leq 16$ mag 的星, 精度为 4~7 mas/yr, 系统误差为 1 mas/yr。这架望远镜的红星等 (579~642 nm) 是星像轮廓拟合, 而不是用孔径测光得到, 所以非常粗略, 精度约为 0.3 mag, 仅可用于证认。精确的红外星等是由 2MASS (Two-Micron All Sky Survey)^[9] 拷贝得到。

(3) GSC2.3

GSC2.3^[10] 是用 1950 年后的 50 yr 中拍摄的 7847 张施密特底片编制的。2002 年 4 月 GSC2.2 公开发表。该星表包括 F 波段亮于 18.5 mag 和 J 波段亮于 19.5 mag 的 435457355 个天体, 位置精度 0.3" (相应历元 1992.5), 在底片边缘暗于 16 mag 的位置精度为 0.35"~0.75"。2005 年底 GSC2.3 版本发表, 其天测、测光和分类的处理与 GSC2.2 一样, 但是它的特点是: 1) 包括 998402801 个天体; 2) 星等至 20 mag, 每个天体至少有 3 种星等数据: F 、 J 和 V ; 3) 由天体两个历元的位置给出自行及其误差。GSC2.3 的其他特性、自行的改进以及应用还有待今后进一步的研究。

(4) USNO B1.0

USNO B1.0^[11] 所用底片与 GSC II 相似, 它包括全天完备星等 V 亮于 21 mag 的 1042618261 个天体的位置、自行、在 5 个光学波段 (O 、 E 、 J 、 F 、 N) 的星等和分类 (恒星或星系)。给出在 J2000.0 时的位置精度为 0.2", 5 种颜色的测光精度为 0.3 mag。

(5) SPM3.3

SPM 最大特点是用衍射光栅技术方法解决了星等系统差。1997、1998、2001 年 SPM1.0、SPM1.1 和 SPM2.0 分别发表。用 PMM (Plate Measuring Machine) 量度结果编制的 SPM3 曾发表了 4 个版本: SPM3.0、SPM3.1、SPM3.2 和 SPM3.3。2004 年 5 月 SPM3.2 发表。它包括 $-43^\circ < \delta < -22^\circ$ 范围中 156 个天区 (3700 平方度)、 $4 \leq V \leq 17.5$ 的 10764865 个天体的绝对自行、位置和照相的 B 、 V 测光, 自行精度和系统差分别为 4 mas/yr 和 0.4 mas/yr, 测光精度约为 0.15 mag。SPM1 和 SPM2 给出相对星系的绝对自行, 而 SPM3 将自行归算至由依巴谷星表给出的 ICRS (International Celestial Reference System) 的自行系统。2004 年 10 月 SPM3.3^[12] 发表。SPM 是 NPM 在南天的扩充。NPM 计划给出以 50517 个星系为参考, 8~18 mag 的 0.38×10^6 颗星的位置、自行、星等和颜色 ($-23^\circ < \delta < 90^\circ$), 位置精度 0.06"~0.08" (单次测量); 当平均历元差为 27 yr 时, 自行精度为 0.59"/cent., 用星系决定的绝对自行的零点误差为 0.2"/cent.^[13]。

此外的依巴谷扩充星表还有 CMC13 (Carlsberg Meridian Catalogue in version 13)^[14]、M2000^[15]、ACR (Astrometric Calibration Regions)^[16] 等。以上仅是光学天球参考架的情况, 有关星表的特性列于表 2, 表中位置精度对应于平均观测历元。

多波段参考架包括 γ 、X、紫外、光学、红外、亚毫米和射电参考架。现在已建立光学、红外和射电参考架, 并各自都有其改进计划。射电参考架除了增加 109 颗 ICRF 源外 (ICRF

表 2 各种星表的比较 [7,8,10~16]

星表	平均观测历元	极限星等 /mag	星数 /10 ⁶	位置精度 /mas	自行精度 /mas·yr ⁻¹
Tycho-2	1991.5	12.5	2.5	60	2.5
UCAC2	2000.5	16.0	48	15~70	1~7
SPM3.3	1979.7	17.5	10.7	40~150	4
NPM1+NPM2	1963	18.0	0.38	60~80	6
GSC2.3 ¹⁾	1992.5	20.0	998	200~300	待定
USNO B1.0 ¹⁾	1992.5	21.0	1042	200	无
CMC13	2001.25	17.0	36.2	21~75	无
M2000	1999.0	16.3	2.3	50	无
ACR	1996.0	18.3	1.2	26~60	无

注: 1) 有两个历元位置, 此处对应于第二历元。

Ext-1 和 Ext-2 分别为 59 颗和 50 颗), 还开展了对 ICRF 源的高频观测, 以减小源结构对天体测量精度的影响。另外, 为了满足深空导航的需要, 它也将 Ka 波段 (32 GHz) 对 ICRF 源进行观测。2002 年 1 月 VLBA 在高频波段: K 波段 (24 GHz) 和 Q 波段 (43 GHz) 对 ICRF 源进行观测, 在 Ka 波段观测的首批候选源是从靠近 NASA Mars'05 轨道的 40 个强源 (强度大于 0.7 Jy) 中选择的, 以后再观测 ICRF 的弱源, 希望在 2010 年左右能得到 K、Ka 和 Q 波段的高精度的 ICRF^[17]。2MASS 是河外射电参考架在红外的实现, 2000 年时其位置精度为 60~100 mas, 但是它无自行, 这有待今后改进。由于大气包围着地球, γ 、X、紫外源只能用空间卫星进行观测, γ 源的位置精度很差, 仅几个角分。

光学与河外射电参考架已通过 4 种方法建立了关系。依巴谷与射电参考架之间的旋转参数在 1991.25 时为零, 指向精度为 ± 0.6 mas, 旋转速率的精度为 ± 0.25 mas/yr^[18]。FK5 (Fuenfter Fundamental Katalog) 与依巴谷参考架在 1991.25 时, 指向差及精度分别为 $\varepsilon_x = (-17.3 \pm 2.3)$ mas, $\varepsilon_y = (-14.3 \pm 2.3)$ mas, $\varepsilon_z = (+16.8 \pm 2.3)$ mas; 旋转速率差及精度分别为 $\omega_x = (-0.30 \pm 0.10)$ mas/yr, $\omega_y = (+0.60 \pm 0.10)$ mas/yr, $\omega_z = (+0.70 \pm 0.10)$ mas/yr^[19]。随着依巴谷星自行误差的变化, 这些关系式也将变化, 现在还将继续采用联线干涉仪测定射电星的位置, 并推算它们的自行。不久后美国海军天文台 UCAC 小组将发表用 UCAC 作为参考星表的射电源光学对应体的位置, 并给出光学与射电参考架联系的最新结果。力学与射电参考架之间的联系主要用激光测月和 VLBI 资料得到, 其结果每年在 IERS 年报上发表^[20]。

除了参考架的建立和联系以外, 上述工作还需包括参考架的维持。河外射电参考架采用全球的 VLBI 观测维持。由于自行误差, 至 2010 年依巴谷的位置精度将从 1 mas 降至 25 mas, 所以依巴谷星的自行改进或其位置重新测定是一项亟需进行的工作。2004 年 10 月 Zacharias^[21] 提出研制一架新的望远镜 URAT (USNO Robotic Astrometric Telescope), 它的口径和焦距分别为 0.85 m 和 3.6 m, 视场为 3°, 检测器用 11 k×11 k CCD 或 14 k×14 k CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Transistor, 视场为 2°×2°)。在南北半球各经过 2 yr 观测以后, 将给出一本亮于 20 mag 的全天星表, 它对于 14~20 mag 源的位置精度为 5~10 mas。

3.2 双星观测计划

12 万依巴谷星中有 20% 是双星, 2002 年发表了第谷双星星表^[22]。表中列出 7 万多颗

双星和聚星,其中包括有疑问的双星,需要地面进一步观测。双星工作成绩最显著的是美国 USNO,其 USNO 66 cm 折射望远镜主要用于双星观测。早期 USNO 用目视观测,1990 年以后安装了斑点干涉仪,分辨率为 $0.25''$,能观测星等差 3.5 mag 的 10 mag 左右的双星。USNO 的斑点干涉仪还安放在 McDonald 天文台 2.1 m 望远镜上,对依巴谷星表中 846 颗新的和有疑问的双星进行观测研究。美国 WIYN (University of Wisconsin, Indiana University, Yale University, National Optical Astronomy Observatory) 3.5 m 望远镜的斑点干涉仪同样有观测依巴谷双星和其他感兴趣目标的计划^[23]。USNO 光学干涉仪和 HST 也进行双星观测。

20 世纪 90 年代双星观测计划的重要贡献是华盛顿双星星表新版本的出版^[24]。这个资料曾用于依巴谷星表中双星和聚星系统的归算,用于第二个天体测量卫星和巡天计划 SDSS 输入星表中星系、双星、聚星等的鉴别以及双星的物理特征研究(如双星之间质量交换、双星的演化等)。随着光干涉和 HST 对双星的观测,现已能观测间距为 $65 \mu\text{as}$ ($\Delta m = 0 \text{ mag}$) 和 $200 \mu\text{as}$ ($\Delta m = 3 \sim 4 \text{ mag}$) 的双星、剑鱼座 30 内核的分解^[25]、主序星末端 20-20-20 聚星系统的观测等^[26]。

地外行星的探测是天文学的热点课题之一,至 2004 年初已发现 140 颗地外行星^[27]。地外行星的检测方法很多,有用天体测量方法的,如 STEPS (Stellar Planet Survey) 计划^[28],也有用视向速度方法的,如美国 Allegheny 天文台用 MAPS (Multichannel Astrometric Photometer with Spectrograph) 检测地外行星,以及 2007 年 ESO 的 VLTI (Very Large Telescope Interferometer) 将启动的 PRIMA (Phase-Referenced Imaging and Micro-arcsecond Astrometry) 计划^[29]。

3.3 太阳系天体的观测计划

太阳系天体的观测计划是地面长期观测的 4 个任务之一,太阳系中快速运动的天体,如人造卫星、碎片、残骸都需要地面台站联网观测才能精密定轨。现在有许多近地小行星的探测计划。Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System)、DCT (Discovery Channel Telescope)、LSST (Large Synoptic Survey Telescope) 等大望远镜都安排了对小行星的观测。至 2005 年 2 月,已编号的小行星有 108541 颗,但是精度约在 30 mas,各国的国防部门非常重视这些工作。天文学家们更重视利用这些观测开展太阳系的起源和演化研究,从而对自然卫星、小行星以及现在热门的课题柯伊伯带天体和海外天体的检测和研究更感兴趣。至 2005 年 4 月已检测到近地小行星和海外天体分别有 3281 和 998 颗^[30,31],预计 10 yr 后将检测到 10000 颗柯伊伯星、小行星带中的几百万颗小行星和几万颗近地小行星^[32]。

1973 年自然卫星互掩的全球性观测计划开始实施,法国经度局天体力学研究所负责自然卫星的国际合作计划^[33]。1979、1985、1991、1997 年全球都有合作观测。观测掩星时的光变曲线可以得到卫星之间的相对位置和卫星运动的力学模型,通过观测卫星的加速可知由于潮汐效应而使能量损失的情况,并给出对卫星内部结构模型的约束。另外,美国 Palomar 天文台的 Oschin 施密特望远镜正在实施近地小天体 CCD 的长期观测计划。

除此以外,还有 USNO 的视差计划以及测定视向速度的 RAVE (RAial Velocity Experiment) 计划。1995 年美国耶鲁大学天文系发表了 GCTSP (General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes) 第 4 版本,总共列出 8112 颗星的视差值,其精度 σ_π 已提高至 $0.004''$,其中还列出不包括在依巴谷星表中暗于 13 mag 的 2300 颗星的视差值^[34]。依巴谷卫星已得到 118000 颗星的视差值,比地面观测的视差值的数量增加了 15 倍,但是 σ_π/π 好于 10% 的星

仅有 20870 颗。以 200 多颗银河系造父变星为例, 它们的平均视差为 1.01 mas, 误差为 1.47 mas, 其中 29% 相对视差为负值。另外, 186 颗天琴 RR 型变星的视差大部分是负值或 σ_{π}/π 大于 100%, 其中只有一颗星的 σ_{π}/π 小于 20%。对于亮星而言, 在海量的视差测定中空间天体测量已完全代替地面观测, 但是地面观测将在暗星视差的测定中发挥作用。1964 年 3 月美国 USNO 用 1.55 m 天体测量反射望远镜开始了照相视差观测计划, 20 世纪 80 年代中 CCD 开始用于测定 $16 \text{ mag} < V < 20 \text{ mag}$ 的暗星视差, 精度达 $\pm 5 \text{ mas}$, 最好结果为 $\pm 3 \text{ mas}$ [35]。暗星视差测定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。亚矮星中的 F~G 星可以作为星系球状星团的距离校准器, 也可用于核聚变天体的研究。暗星视差的测定工作十分重要, 现在全球有 7 个工作组分别用 Flagstaff 1.55 m、Siding Spring 1 m、CTIO (Cerro Tololo Inter-American Observatory) 1.5 m、Torino 1.05 m、La Silla Danish 1.54 m、ESO 2.2 m 和 Palomar 1.5 m 望远镜继续 CCD 的暗星视差计划 [34]。HST 的天体测量组认为, 用 HST 的 FGS (Fine Guidance Sensors) 测定的视差值精度可以达到 $\pm 0.5 \text{ mas}$, 但是 FGS 能测定多少颗星的视差还很难预计。

视向速度的测定采用了天体物理方法, 它与天体的空间运动密切相关。依巴谷没有测定视向速度, 而 Gaia 将给出亮于 17 mag 星的视向速度, 其精度为 1~10 km/s, 因此在 Gaia 发射前, Steinmetz 领导的科学工作组提出了测定视向速度的 RAVE 巡天计划 [36]。在 2006~2010 年英澳天文台 (AAO) 的 UK 1.2 m 施密特望远镜和北半球的相应望远镜 (如我国国家天文台的 LAMOST、日本的 Kiso 和 Tautenburg 施密特望远镜) 将测定亮于 16 mag 约 50×10^6 个天体的视向速度 (精度为 2 km/s)、金属度和丰度比, 然后组成一个比现在提出的其他巡天计划大 3 个数量级的恒星运动学数据库。

4 天体物理与天体测量相结合的观测计划

现今大口径的天文望远镜在进行光谱、测光的同时也都进行天体位置的测定, 而一些 20 cm 口径的子午环也对天体物理学家们感兴趣的恒星形成区、卡普坦选区进行观测, 以下分别描述这些局部天区的观测计划。

(1) 天体密集星团的观测

卫星根据扫描规则对全天观测时, 不可能观测到星团的所有天体, 因此星团观测是地面观测的任务之一。WOCS (WIYN Open Cluster Study) 计划是美国威斯康星大学、印第安纳大学、耶鲁大学和国家光学天文台的合作计划 [37]。它的天体测量目的是: 1) 建立 WOCS 星团成员星数据库, 其中包括测光 (颜色、星等、星等变化)、天体测量 (位置、自行) 和光谱 (化学丰度、视向速度) 的资料。与现有资料比较, 这个数据库给出暗星和小质量星的资料, 它是一个综合的、完整的、精确的数据库; 2) 通过疏散星团的研究解决许多天体物理的问题, 如核的对流超射 (convective overshoot) 和恒星的寿命; 通过周期的测光监测研究角动量的演化; 发现具有年龄特征的白矮星序; 通过 Fe、CNO 和 Li 丰度的测定研究恒星内部的混合、扩散等过程, 研究银河系的化学演化和原始丰度; 在具有许多双星族的星团中研究恒星动力学; 在密近双星系统中研究恒星演化以及初始和现在的质量函数。

(2) 星系红移的观测

SDSS 的目标是测量星系和类星体的红移^[38]。它在同一望远镜上设计了两种观测方式,即可以在 5 个波段对星像进行定位和测光,同时观测 640 个天体的光谱。这个望远镜安放在美国新墨西哥州 Apache Point 天文台,2000 年 4 月开始正式观测,5 yr 内总共观测了 1/4 天空,约 10000 平方度,检测了约 5×10^7 个星系、 10^6 颗类星体、 8×10^7 颗恒星。SDSS 已经发表了 4 次观测结果:2001 年 6 月的早期资料 EDR (Early Data Release)、2003 年 10 月的 DR1 (Data Release 1)、2004 年 3 月和 10 月相应的 DR2 和 DR3。这些资料已达到早期提出观测 10000 平方度天区的目标,因此 Hesser 等 4 人提出银河系形成和演化研究的 SDSS 扩充计划^[39]。该计划把 SDSS 在北银极区的观测向低银纬扩充 4000 平方度。在 DR1 资料中,用 UCAC 和 Tycho-2 为参考星表的位置的内部精度分别为 45 mas 和 75 mas (对应于 R 波段 20 mag),天体暗至 22 mag 时,精度为 100 mas;系统误差为 20~30 mas。用 Tycho-2 归算的 SDSS 结果与 UCAC 比较可得, $\mu = (-15 \pm 76)$ mas, $\nu = (18 \pm 79)$ mas;与 2MASS 比较, $\mu = -0.035'' \pm 0.123''$, $\nu = -0.33'' \pm 0.122''$;与 2MASS 比较,用 UCAC 归算的 SDSS 结果 $\mu = -0.025'' \pm 0.118''$, $\nu = -0.058'' \pm 0.114''$ 。此处 μ 和 ν 分别对应于 CCD 照相机漂移扫描的方向及与 μ 垂直的方向。 μ 和 ν 分别为归算 SDSS 每一个扫描条观测中所采用的大圆坐标系的经度和纬度, μ 与 J2000 赤道的交角为 i ,交点的 μ_0 为 95° (即 μ 量度的原点),通过转换公式可以把大圆坐标 μ 和 ν 转换为 J2000 的赤经和赤纬(详细的归算方法请参阅有关文献)。

(3) 大尺度类星体的巡天计划

该计划由美国耶鲁大学、印地安大学、委内瑞拉天文研究中心和 Los Andes 大学 4 个单位合作进行。它在一个相同天区同时实施几种观测计划(如 QUEST 天琴 RR 型变星的巡天计划,观测超新星、地外天体和其他太阳系天体、金牛 T 型星的研究计划等),以便寻找类星体。QUEST 天琴 RR 型变星巡天计划观测 700 平方度的天区,亮星和暗星的星等分别约为 13.5、19.7 mag,对应的距离约为 4、60 kpc。2004 年 2 月第一期观测星表发表,其中列出了 498 颗天琴 RR 型变星的赤经、赤纬、周期、变星的类型等^[40]。

(4) 暗晕物质的检测

银河系由暗物质的晕包围,其质量为银河系可见部分的 10 倍。暗晕的成分是未知的,现在已知的候选者是相互作用的奇异粒子或暗天体(如棕矮星、黑洞等)。暗晕的特征对宇宙学和星系形成理论有着重要的意义。现在人们通过观测认为,暗晕可能是老的、非常冷的白矮星渐变而成的,寻找到白矮星可以直接检测和研究暗晕物质。Oppenheimer 等人^[41]用 SSS (SuperCOSMOS Sky Survey) 在 R59F 和 B_J 波段(对应于 0.59、0.45 μm) 的数字化底片中寻找自行在 $0.33''/\text{yr}$ 至 $10.0''/\text{yr}$ 之间、星等暗至 19.8 mag 的天体。他们采用的底片对应的天区靠近南银极,具有 3 个观测历元,总共包括 4165 平方度天区,占整个天区的 10%。由此,他们发现了 38 颗新的冷白矮星,太阳附近暗晕物质的估计数密度约为 $1.1 \times 10^{-4} M_\odot \cdot \text{pc}^{-3}$,因此这次检测的 38 颗冷白矮星是局部暗物质的 2%。Reid 等人^[42]和 Salim 等人^[43]重新分析了 Oppenheimer 等人的样本,得到的空间密度分别是 1.8×10^{-5} 、 $3.1 \times 10^{-5} M_\odot \cdot \text{pc}^{-3}$ 。Spagna 等人^[44]用其他统计方法得到的空间密度为 $0.5 \times 10^{-5} M_\odot \cdot \text{pc}^{-3}$ (占本地暗物质的 0.1%~0.2%),比 Oppenheimer 等人的结果小一个量级。目前对于暗晕物质由古老的冷白矮星形成,还是由约 $0.5 M_\odot$ 的致密天体形成的问题尚有争议。

(5) 天体物理感兴趣天区的观测

206 个卡普坦选区的观测对星系动力学和银河系结构的研究起了很大的作用, 根据这些观测, 卡普坦提出了“卡普坦宇宙”的观点。Cocke 和 Reid^[45] 选用分别在 1927 年和 1993 年 8 月 5~20 日拍摄的各 2 张底片确定卡普坦选区 SA94 (Kapteyn Selected Area 94) ($\alpha = 2^{\text{h}}53^{\text{m}}$, $\delta = 0^\circ$) 中 6125 颗星的位置和自行, 其中 189 颗自行大于 $0.1''/\text{yr}$, 位置和自行的形式误差分别为 $\pm 0.14''$ 和 $\pm 0.023''/\text{yr}$ 。1998 年 12 月 2 日和 6 日 Las Campanas 天文台 2.54 m 望远镜的 Modalar 分光仪对 SA94 天区自行大于 $0.2''/\text{yr}$ 的 30 颗星作了光谱观测, 根据 TiO5 和 CaH 指数的带宽定量地分类, 贫金属星被分类为中间亚矮星 (sdK, sdM) 或绝对亚矮星 (esdK, esdM)。对于 SA94 天区 $0.1''/\text{yr} < \text{自行} \mu < 0.2''/\text{yr}$ 范围内的 187 颗没有分光观测的星可以用归算自行图 $[H_V, (V - I)]$ 进行分类, 把整个样本分为候选的白矮星、主序矮星和晕亚矮星。由此可知盘₁: 盘₂: 晕的密度比为 90:10:0.25, 而星数的比例为 2:1:0.65 ($N_{\text{晕}}/N_{\text{盘}}$ 约为 0.2)。由运动特性可知盘星₁、盘星₂ 和晕的距离分别约为 111、197、670 pc, 即它们的距离模数分别为 5.2、6.5、8.4。已知样本的极限星等 $V < 18.5 \text{ mag}$, 因此盘矮星的绝对星等 $M_V > 12 \text{ mag}$ 和晕亚矮星的 $M_V > 10 \text{ mag}$ 。由样本的空间数密度、距离和 M_V 可以计算盘和晕光度函数的估算值。

恒星形成区在众多分子云和 OB 星协的扩展区, 如南天的 Chamaeleon (螭蜥座)、Lupus (豺狼座)、Upper Scorpius-Ophiuchus (上天蝎座-蛇夫座)、Corona Australis (南冕座) 天区。它们位于银经 $290^\circ \sim 360^\circ$ 之间, 距离太阳 100~150 pc, 其中的主序前 (pre-main sequence, 简称 PMS) 星非常年轻, 其速度与初始时速度相似, 所以对主序前星的研究可以了解恒星形成机制。Teixira 等人^[46] 用上述天区研究的结果编制了 680 颗金牛座 T 和 Herbig Ae/Be (简称 HAeBe) 候选者的输入星表, 并在 1998~1999 年用巴西 Sao Paulo 大学 Abrahao de Moraes 天文台的 Valinhos CCD 子午环对这个星表进行观测。以 ACT (Astrographic Catalogue and Tycho) 为参考星表, 在 $9.0 \text{ mag} < \text{星等} V < 14.0 \text{ mag}$ 时, 该星表的位置和测光精度为 $0.050''$ 和 0.05 mag ; 在极限星等 16 mag 时, 它的均方误差可达 $0.100''$ 。为了推算自行, Teixeira 等人采用观测历元在 1974.5~1980.5 年之间的 13 张 SERC-J (UK Science and Engineering Research Council) 的底片作为第一历元观测资料, 在法国 MAMA (Machine A Mesurer pour l'Astronomie) 量度仪上进行测量, 结果用 ACT 归算的位置精度为 $0.25''$ 。为了更好地推算自行, 观测历元的位置需要均匀分布, 因此除了上述两种资料外, 还用 AC2000、USNO-A2.0、Tycho-1 和 Hipparcos 星表, 各种资料相结合推算的自行精度为 5~10 mas/yr。由此可得到 213 颗主序前星的自行, 其中金牛 T 型星和 HAeBe 型星分别为 185、28 颗, 另外还有在 Chamaeleon 和 Lupus 中的 29 颗非主序前的 ROSAT 星。这些星中有 101 颗星的自行是从来没有测定过的。它们与依巴谷自行比较的弥散度为 6 mas/yr。在扣除太阳运动后, 可以显示上述 4 个天区恒星组的平均运动, 如 Lupus 天区 14 颗主序前星 (视差为 138 pc) 在银经方向的平均自行 $\mu_l \cos b = -10 \text{ mas/yr}$ 。将上述结果与理论模型比较可以了解这些天区恒星组的年龄等。

此外, 还有研究银河系翘曲、煤袋 (宇宙中气体和尘埃密集之处) 的观测计划, 如 20 世纪初 AC 的巡天计划就对 Sydney 天区和天鹅座沿大暗裂缝处南北煤袋天区进行了研究^[47]。

上述这些观测计划都在寻找银河系晕的亚结构和潮汐星流以及矮等轴椭球伴星系瓦解的遗迹, 这些发现将有助于了解星系的形成与演化^[48]。

5 结 语

在空间天体测量时代,国际上大口径的地面天文望远镜在进行光谱、测光的同时也都进行天体位置的测定,而一些 20 cm 口径的子午环对天体物理感兴趣天区也进行观测。目前研究已进入天体测量参数(位置、自行、视差)与非天体测量参数(视向速度、光度、元素丰度)相结合的阶段。天体测量的研究领域有:多波段天球参考架的建立、维持和各种参考架之间的联系;双星以及地外行星的检测和研究;太阳系天体的观测和研究,特别是近地天体、柯伊伯和海外天体的检测;大样本天体测量资料对银河系运动的研究,以及暗星的视差测定和与天体三维空间运动密切相关的天体视向速度的巡天观测。

我国自然科学基金会根据国际、国内自然科学学科发展的现状,每 5 年制定一次发展规划,从“七五”至“十五”计划,天体测量的重点课题有:“天文参考系的准确定义及其实现”、“高精度天文参系研究”、“高精度天体测量学参数的测定及动力学应用”和“依巴谷参考架的扩充和应用”。“十一五”计划正在制定中,我们建议将“高精度天体测量参数研究及其在银河系天文学上的应用”作为天体测量优先发展方向。“十五”基金会重点课题将给出 5~8 个 LAMOST 的标准天区和输入星表,即改进的 GSC2.3,这些实测资料和研究结果将用于银河系结构和运动的研究。我国 GSC2.3 资料的应用研究已与意大利都灵天文台合作,并正在争取与美国耶鲁大学天文系建立合作,因此我们建议的“十一五”基金会重点课题是基金会“十五”天体测量重点课题的继续。这个研究方向也能带动天体测量有关方面的工作:(1)对星团、天体物理感兴趣天区和天体进行实测;(2)银河系天体的位置与运动必须在一个准惯性参考系中给予描述,因此促进了参考架的建立和维持工作;(3)太阳系在银河系内,人们早就在天体的自行中给出了太阳运动,另外对柯伊伯和海外天体以及小行星的观测和研究也与太阳系起源有关,因此可望推动对太阳系的研究;(4)质量和大小是恒星天体物理参数之一,尽管它与银河系天体的整体运动无直接联系,但是与银河系的质量分布有着密切关系。而由双星和聚星的轨道研究可以得到子星的质量,因此有望推动双星和地外行星的研究。

我们初步考虑这个研究方向的主要研究内容如下:

(1) 多波段参考架的建立和维持

天文参考架是研究天体运动的基本框架,用我国的 VLBI 网参与国际合作,采用各种方法,如 ICRF 加密、在高频处观测射电源,以及采用新的归算方法来减小对流层的影响等,提高射电源的位置精度和 ICRF 的稳定度(现在位置精度和稳定度分别为 ± 0.25 mas 和 ± 0.014 mas)。通过与意大利都灵天文台的合作,参与 Gaia 观测资料的归算和光学参考架的建立。改进的 GSC2.3 与视差结果和 LAMOST 得到的视向速度相结合可得到一个约 200 毫角秒和每年几个毫角秒精度以及两个波段测光的低精度的“Gaia”,今后用 Gaia 资料进行许多科学研究都可以在改进的 GSC2.3 上进行试验,如选择最佳分布的类星体,作为 Gaia 与 ICRF 的联系、暗物质的检测等。结合对天体物理感兴趣天区(如星团、恒星形成区等)和近地天体的观测,高精度测定该天区天体的天体测量参数,并与我国老底片的数字化资料相结合,来改进现有星表中天体的位置和自行,在此基础上提高依巴谷参考架的稳定性。

(2) 利用大样本天体测量星表数据研究银盘等银河系大尺度结构

利用最新的 GSC-II、UCAC2 等高精度天体测量星表, 结合 2MASS 光度资料, 并利用 LAMOST 光谱测量获取大样本恒星视向速度资料, 开展对银河系翘曲、银河系暗晕物质、宇宙尺度、银盘特别是厚盘结构参数的研究; 通过大样本恒星的视向速度测定和天体测量数据, 开展高精度天体测量参数的应用, 包括岁差常数、太阳运动速度和太阳至银心的距离等基本参数的测定; 结合化学丰度资料, 在银晕、厚盘及外核球中探索具有独特运动学与化学特征的星流。

(3) 研究银河系星团的运动学性质

鉴于银河系星团的运动学与动力学性质的重要性, 首先开展银河系疏散星团和球状星团的运动学研究。国际上, 利用 HST 的成像资料进行球状星团内部运动的研究近几年刚刚起步, 我们可以同时利用 HST 的多历元高精度天体测量数据, 对近距球状星团的核心区域作自行测定。

致谢 紫金山天文台鲁春林研究员对“十一五”天体测量优先发展方向提出了意见, 李广宇研究员和赵海斌助理研究员提供了太阳系小行星的有关资料, 特致谢意。

参考文献:

- [1] Lindegren L. In: Turon C, O'Flaherty K S, Perryman M A C eds. Proceedings of the Symposium "The Three Dimensional Universe with Gaia", ESA SP-576, ESA Publications Division, ESTEC, 2005: 35
- [2] 金文敬, 唐正宏, 王叔和. 天文学进展, 1999, 17(3): 187
- [3] Fey A L, Boboltz D A, Gaume R A. AJ, 2001, 121(3): 1741
- [4] <http://sim.jpl.nasa.gov>, 2005
- [5] Gouda N, Yano T, Yamada Y *et al.* In: Turon C, O'Flaherty K S, Perryman M A C eds. Proceedings of the Symposium "The Three Dimensional Universe with Gaia", ESA SP-576, ESA Publications Division, ESTEC, 2005: 77
- [6] Johnston K, Dorland B, Gaume R *et al.* ASP Conf. Ser., 2005, 338: 46
- [7] Hog E, Fabricius C, Makarov V V *et al.* A&A, 2000, 355: L27
- [8] Zacharias N, Urban S E, Zacharias M I *et al.* AJ, 2004, 127: 3043
- [9] <http://www.ipac.caltech.edu/2MASS>, 2003
- [10] <http://www-gsss.stsci.edu/gsc/gsc2>, 2001
- [11] Mont D G, Levine S E, Canzian B *et al.* AJ, 2003, 125: 984
- [12] Girard T M, Dinescu D I, van Altena W F *et al.* AJ, 2004, 127: 3060
- [13] Hanson R B, Klemola A R, Jones B F. AJ, 2004, 128: 1430
- [14] Evans D W, Irwin M J, Helmer L. A&A, 2002, 395: 347
- [15] Rapaport M, Le Campion J F, Soubiran C *et al.* A&A, 2001, 376: 325
- [16] Stone R C, Pier J R, Monet D G. AJ, 1999, 118: 2488
- [17] Fomalont E B. ASP Conf. Ser., 2005, 338: 335
- [18] Kovalevsky J, Lindegren L, Perryman M A C *et al.* A&A, 1997, 323: 620
- [19] Mignard F, Froeschle M. A&A, 2000, 354: 732
- [20] Chapront J, Chapront-Touze M, Francou G. A&A, 1999, 343: 624
- [21] Zacharias N. ASP Conf. Ser., 2005, 338: 98
- [22] Fabricius C, Hog E, Makarov V V *et al.* A&A, 2002, 384: 180
- [23] Horch E P, van Altena W F, Meyer R D. ASP Conf. Ser., 2005, 338: 90
- [24] Mason B D, Wycoff G L, Hartkopf W I *et al.* AJ, 2001, 122: 3466
- [25] Lattanzi M G, Hershey J L, Burg R *et al.* ApJ, 1994, 427: L21
- [26] Henry T J, Franz O G, Wasserman L H *et al.* ApJ, 1999, 512: 864
- [27] Marey G W, Fischer D A, McCarthy C *et al.* ASP Conf. Ser., 2005, 338: 191

- [28] Pravdo S H, Shaklan S B. ASP Conf. Ser., 2003, 294: 107
- [29] Reffert S, Launhardt R, Hekker S *et al.* ASP Conf. Ser., 2005, 338: 81
- [30] <http://cfa-www.harvard.edu/iau/lists/>, 2005
- [31] <http://neo.jpl.nasa.gov/stats/>, 2005
- [32] Bowell E. ASP Conf. Ser., 2005, 338: 147
- [33] <http://www.imcce.fr/phemu03>, 2004
- [34] van Altena W F, Lee J T, Hoffleit D eds. The General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes, 4th edn, New York: L. Davis Press, 1995: 1
- [35] Monet D D, Dahn C C, Vraba F J *et al.* AJ, 1992, 103(2): 638
- [36] Steinmetz M. ASP Conf. Ser., 2002, 298: 381
- [37] Sarajedini A, Mathieu R D, Platais I. Astrophys. Space Sci. Libr., 2003, 289: 257
- [38] Stoughton C, Lupton R H, Blanton M R *et al.* AJ, 2002, 123(1): 485
- [39] <http://www.sdss.org>, 2004
- [40] Vivas A K, Zinn R, Abad C *et al.* AJ, 2004, 127: 1158
- [41] Oppenheimer B R, Hambly N C, Digby A P *et al.* Science, 2001, 292: 698
- [42] Reid I N, Sahu K C, Hawley S L. ApJ, 2001, 559: 942
- [43] Salim S, Rich R M, Hansen B M *et al.* ApJ, 2004, 601: 1075
- [44] Spagna A, Carullo D, Lattanzi M G *et al.* A&A, 2004, 428: 451
- [45] Cooke J A, Reid I N. MNRAS, 2000, 318: 1206
- [46] Teixeira R, Ducourant C, Sartori M J *et al.* A&A, 2000, 361: 1143
- [47] Fresneau A, Argyle R W, Marino G *et al.* AJ, 2001, 121: 517
- [48] Ibata R A, Gilmore G, Irwin M J. Nature, 1994, 370: 194

Second-Generation Astrometric Satellites and Post-Hipparcos Advances in Ground-Based Astrometry

JIN Wen-jing¹, LI Dong-ming², XIA Yi-fei³, CHEN Li¹, ZHU Zi³

(1. Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China; 2. Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3. Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Post-Hipparcos advances in both of space and ground-based astrometry is briefly described. First, the current progress of Gaia project is given; the programs of JAMSE and OBSS are introduced as well as the status of SIM PlanetQuest project containing the astrometric content is reviewed. The establishment and maintenance of multi-wavelength reference frame are indicated, especially the extension of Hipparcos catalog down to faint stars, projects of digital sky survey as well as other plans of ground based observations, such as observing binary and multiple stars, solar celestial bodies are described in the third part of this paper. Fourth section gives the progress of several research subjects combining astrometry and astrophysics such as WOCS, SDSS, QUEST RR Lyrae survey and so on. Finally, our preliminary suggestion “the research on astrometric parameters and its application on the field of Galactic astronomy in large scale”, which is as an advanced research subject supporting by the National Natural Science Foundation, is submitted during the eleven-five year plan.

Key words: astrometry; post Hipparcos astrometry; review; Gaia; digital sky survey; LAMOST