

文章编号: 1000-8349(2009)03-0247-23



天体测量星表与巡天观测的进展

金文敬

(中国科学院 上海天文台, 上海 200030)

摘要: 该文简述了巡天观测和星表编制的历史和意义。介绍了天体测量星表与巡天观测的最新进展, 如位置星表 URAT、Pan-STARSS、LSST; 自行星表 LSPM、PM2000、BDKP; 视差星表 USNO、CTOPI、L 和 T 型星的视差测定等。简略介绍了天体物理星表, 其中包括测光星表 GCPD、UBV、GSPC; 光谱星表 MSS、BDSS、SDSS 和视向速度星表 GCRV、CORALIE、RAVE。特别描述了恒星名至今仍在使用的 20 世纪初编制的 Durchmusterung、Lowell、Henry Draper 星表。描述了近年来普遍受到人们关注的联合星表编制的发展, 如 SKYMAP、距离太阳 10 pc 内的近距星表 RECONS、描述了局部天区的 HDF、双星星表等。另外还介绍了其他波段的巡天观测, 如射电的 NVSS、FIRST; 近红外的 IRAS PSC 和 FSS; X 波段的 WGCAT 星表等。最后, 对今后开展巡天观测和编制星表提出了应注意的几个问题。

关键词: 天体测量学; 星表; 巡天观测

中图分类号: P129, P114.4⁺2 **文献标识码:** A

1 引 言

为了不同的研究目的, 人们开始了各种巡天计划, 并把观测结果编制成星表, 出版或以数据库的方式提供人们使用。公元前 400 年我国战国时魏国天文学家石申著有《石氏星经》, 其中载有 121 颗恒星的位置。公元前 300 和 130 年分别发表了 Alexandria Timocharis 和喜帕恰斯 (Hipparchus) 星表, 其中喜帕恰斯星表包括约 1 000 颗恒星, 位置精度为 $1\ 000''^{[1,2]}$ 。以后, 出现了许多星表和巡天计划。这些星表以观测方式不同有空间的和地面的; 以观测的内容和目的来分, 有天体测量星表 (分为位置、自行、视差星表)、测光星表和光谱星表; 也有按

收稿日期: 2008-09-01; **修回日期:** 2008-12-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10673026 和 10878022); 中国科学院知识创新重要方向项目 (KJ CX2-SW-T1), 上海市科学技术委员会资助项目 (06DZ22101)

观测的目标划分为近地天体巡天、双星星表、变星星表等；以观测波段划分，又有射电的、光学的、近红外的、X 射线波段的；另外还有全天和局部巡天之分。尽管过去的星表通常精度很低，但是根据天体在这些星表（如 DM(Durchmusterung 星表)^[3]、HD(Henry Draper 星表)^[4,5]、G(Giclas H.L. 等人编制的近距星自行星表)^[6] 等) 中的编号作为名称现在仍为人们使用。

在新天体测量学发展的 10 年中^[7]，对天体和天象的研究，不再局限于分别使用天体测量(位置、自行、视差)与天体物理(有效温度、光度、元素丰度)参数，而是将其相互结合，因此在本文第 4 节中特别介绍了联合星表，如 SKYMAP^[8,9]、距离太阳 10 pc 内的近距星表 RECONS^[10]、描述局部天区的 HDF^[11,12]、双星星表^[13,14] 等。本文第 2 和第 3 节介绍了近年来天体测量、测光和光谱的巡天工作的进展，如众所熟知的 SDSS^[15]、2MASS^[16,17]、FIRST^[18,19]、RAVE^[20] 巡天计划以及下一代的 Pan-STARSS^[21]、LSST^[22]。

2 天体测量星表

在《天体测量学方法——历史、现状和未来》一书的有关章节中详细介绍了一些天体测量星表^[23]，其中包括了位置星表(M2000^[24]、2MASS^[16,17]、AC2000^[25])、自行星表(NPM^[26]、SPM^[27])和恒星三角视差星表^[28]。在法国斯德拉斯堡数据库中有 309 个天体测量星表^[29]，其中按观测方法分有子午星表、等高星表和照相星表；按星表编制方法来分有基本星表(为了提供更多的恒星位置又给出了基本星表的扩充星表)和综合星表；按观测天区来分又有全天和小天区的星表(如昴星团星表)；对于特殊的天体，又有天琴 RR 型变星星表、近距星表、双星星表、O 型星星表等。另外，也有不同的学者用相同资料编制出的不同星表，如包括 2.5×10^6 颗恒星的 ASCC-2.5(All-Sky Compiled Catalog)^[30] 和 Tycho-2 星表^[31]；近 10^9 颗天体的 USNO-B1.0^[32] 和 GSC2.3^[33]。由于篇幅有限，这里仅介绍人们感兴趣的一些星表。

2.1 位置星表

(1) DM(Durchmusterung) 星表^[2]。它是由南北半球的巡天观测编制的，星表内容包括有关天体的位置和星等，由 4 本星表组成：(a) 波恩星表(Bonner Durchmusterung Catalogue，简称 BD，赤纬范围为 $0^\circ \sim +89^\circ$)，它是由 F.W.A. Argelander 等人在 1859—1862 年编制的；(b) 波恩星表南天的扩充(South Durchmusterung，简称 SD，赤纬范围为 $-2^\circ \sim -23^\circ$)，它是由 E. Schonfeld 在 1886 年编制的；(c) 科尔多瓦巡天星表(Cordoba Durchmusterung，简称 CoD 或 CD)，它是由 Thome 在 1892—1932 年编制的；(d) 好望角照相巡天星表(Cape Photographic Durchmusterung，简称 CPD，赤纬范围为 $-18^\circ \sim -89^\circ$)，它是由 Gill & Kapteyn 在 1895—1900 年编制的。这 4 个星表的星数分别为 325 037, 134 834, 613 958, 454 877，恒星的编号为 DM 数，至今人们仍经常使用 DM 数来表示某颗恒星。20 世纪 70 年代美国和法国用了 15 a 的时间将该星表数字化^[34,35]。

(2) SkyMapper。它是 SDSS(Sloan Digital Sky Survey) 南天巡天的补充。安放在澳大利亚 Siding Spring Observatory 的一架口径 1.35 m，视场 5.7 deg^2 的望远镜于 2006 年 12 月开始投入工作，2007 年 4 月开始常规观测，计划将在 5 a 中对 Stromlo 南天 2π 球面度的天区进行 6 颜色和 6 个历元的巡天观测，并对恒星进行测光。对 1×10^9 个天体观测 36 次，共有约 2 TB 的观测资料。其天体测量精度好于 50 mas。科学目标有：研究海王星以外的太阳系天体

的分布; 探讨太阳附近最年轻星的形成机制; 了解银河系暗物质晕的扩充和形状; 测定 1×10^8 颗恒星的重力和金属丰度; 研究核棒、薄 / 厚盘和晕化学和形成的历史; 极端贫金属星的研究; 星系红移巡天 2dF/6dF 测光校准; 宇宙电离历史的探测^[36]。

(3) URAT。全称为 USNO Robotic Astrometric Telescope。望远镜的口径为 0.85 m, 焦距 3.6 m, 视场直径 4.5° 。此望远镜有两项改进: (a) 采用 10 k 的照相机, 它由 4 块 111×10^6 像元的芯片 (STA1600, $9 \mu\text{m}$) 和 4 块小的 CCD 组成; (b) 为了与照相机匹配, 在望远镜上安装了“红镜片” (324 mm), 视场为 9° 。单次露光可覆盖 27 deg^2 天空, 观测的极限星等可至 21 mag。对 13~18 mag, 位置精度为 5 mas, 并将于 2009 年在 CTIO (Cerro Tololo Inter-American Observatory) 开始正式观测^[37]。

(4) Pan-STARSS。该巡天计划由 4 个相互校准的大视场望远镜组成。每个望远镜的主镜为 1.8 m, 视场 7 deg^2 , 整体望远镜 (PS4) 将于 2010 年安放在夏威夷 Mauna Kea。PS4 系统之一的 PS1 是单个望远镜, 现已经安放在 Haleakala 山顶, 2008 年中, 已开始了赤纬 -30° 以北天区的 3π 球面度巡天观测, 它覆盖夏威夷所能看到的 $3/4$ 天区, 将历时 3.5 a。观测时使用 5 个滤光片 (*g r i z y*), 每个滤光片在每个位置观测 12 次, 观测的极限星等可达 20.6~23.2 mag。单历元天体的测量精度为 10 mas, 可得到距离在 100 pc 以内恒星的视差和几百 pc 以内恒星的自行, 其精度分别为 1.5 mas 和 1.2 mas/a。观测的安排将有利于测定大自行的星, 对同一视场一年内观测 20 次, 以测定视差。科学目标为研究: 太阳附近几百 pc 内的低质量和亚恒星族; 银河系力学结构、大尺度冕流; 银河系形成和演化; 太阳系天体轨道的改进。PS1 包括几个科学的巡天观测, 3 个 PS1 巡天计划将重复观测 14 个天区, 目的为检测超新星、行星食、M31 的引力透镜和变星, 其中一个计划将观测近地小行星。目前 PS1 已得到令人满意的观测结果, 包括: 观测了几千颗 L 矮星和几百颗 T 型星以及数目上超过现有观测一个量级的冷亚恒星天体; 用自行测量改进近距星形成区的成员^[21]。

(5) LSST。全称为 Large Synoptic Survey Telescope, 是继 SDSS 以后的下一代地面巡天计划。其望远镜的主镜为 8.4 m, 有效口径 6.5 m, 视场 9.6 deg^2 , 仪器安放在智利 Cerro Pachon。在 $0.32 \sim 1.05 \mu\text{m}$ 的 6 个波段 (*u g r i z* 和 *y*) 观测 $\delta = +34.5^\circ$ 以南的 $30\,000 \text{ deg}^2$ 的天区, 3 个夜晚用 2 个测光波段可观测 $15\,000 \text{ deg}^2$, 10 a 内对 $20\,000 \text{ deg}^2$ 的主要巡天区将观测 1 000 次。用 SDSS 和 POSS 可以测定 2×10^7 个极限星等 $V = 20 \text{ mag}$ 的天体的绝对自行 (精度为 3 mas/a) 和 80 000 颗类星体的光谱。如果用 LSST 与 SDSS 和 POSS 或 Gaia 巡天, 则可得 $V = 24 \text{ mag}$ 精度至 1 mas/a 的自行。在 $V = 20 \text{ mag}$ 和 $V = 24 \text{ mag}$ 时视差测定精度分别为 0.3 mas 和 3 mas。LSST 与 Gaia 可以互补, Gaia 能对 $r < 20 \text{ mag}$ 的天体进行精确测量, 而 LSST 可观测至 $V = 24 \text{ mag}$, 后者有 3~4 mag 的延伸, Gaia 的视差将用于校正测光视差估计值; Gaia 的自行也可用于 LSST 自行精度的确认。LSST 的科学目标为: 检测暗能量和暗物质; 给出太阳系的全貌; 发现暂现光学天空; 描绘银河系图像^[22]。

除此以外, 2007 年 HAMC2 (Hispano-Argentinian Meridian Catalogue No.2) 发表, 它包括了 $V = 8 \sim 16 \text{ mag}$ 、赤纬范围为 $-30^\circ \sim 0^\circ$ 的恒星^[38], 这项计划最后将会给出赤纬范围为 $-55^\circ \sim +30^\circ$ 的巡天星表。正在进行的巡天计划还有 DCT (Discovery Channel Telescope)^[39]、CFHTLS (Canada-France-Hawaii Telescope Legacy Survey)^[40]、欧南台的 VST (意大利大学和科学技术研究部提出将 2.5 m 地平式望远镜, 安放在 Paranal 作北天巡天)^[41] 和 VISTA (装有

1 平方度近红外照相机的 4 m 望远镜)^[42]。

2.2 自行星表

自行具有相对和绝对之分。NPM(全称 Northern Proper Motion Catalogue) 和 SPM(全称 Southern Proper Motion Catalogue) 属于后者, 但是自行系统都需化算为 ICRS(International Celestial Reference System) 系统^[26,27]。2008 年 6 月 SPM 已完成了第二历元的 CCD 观测, 用第一历元的底片和第二历元 CCD 资料已给出 6 个球状星团的自行^[43]。绝对自行星表 SPM4 正在编制之中。它包括在 B 和 V 波段、星等范围为 5~17.5 mag、赤纬 -20° 以南天区的 1×10^8 颗星的自行, 至 $V=17.5$ mag 的完备性为 90%。这里仅选择其中几个自行星表给予介绍。

(1) PM2000。该星表(平均历元 1991.8) 是用法国波尔多的 CdC2000(包括 $8.0 \text{ mag} \leq V \leq 16.2 \text{ mag}$ 的 372 000 颗恒星, $t \approx 1900$) 和 M2000($t \approx 1998$), 以及其他 3 个天体测量星表: AC2000.2($t \approx 1900$)、USNO-A2.0($t \approx 1950$) 和 YS3(由 NPM 和 SPM 底片在 NOFS 扫描结果组成, $t \approx 1978$) 编制而成的, 其中 CdC2000 是天图星表中 Bordeaux 拍摄的 512 个天区的底片在剑桥 APM 扫描后得到。PM2000 自行星表(Proper Motion Catalogue) 包括 2 670 974 颗星的自行 ($+11^\circ \leq \delta \leq +18^\circ$), 极限星等 $V_M \leq 16.2 \text{ mag}$, 平均历元时的位置精度为 50~70 mas, 自行精度为 1.5~6 mas/a^[44]。

(2) 用 SDSS 资料确定的自行。Ohio 大学天文系 Gould 等人用 SDSS DR1(对应于天空 2099 deg^2) 和 USNO-B1 推导 $\mu > 0.02''/\text{a}$, $r' \leq 20 \text{ mag}$ 的 390 000 颗星的自行, 误差为 $\sigma_\mu = 3.9 \text{ mas/a}$ 。其特点是自行相对于 12 162 颗类星体, 在相同的星等情况下, 该星表的精度好于以前的星表^[45]。

Munn 等人利用 USNO 的资料也做了类似的工作, 得到的自行是相对于绝对参考架的, 其最暗的天体可至 $g < 19.7 \text{ mag}$, 其完整性为 90%。尽管 USNO-B 在 J2000.0 时 $V \approx 21 \text{ mag}$ 星的位置精度可达 200 mas, 系统误差为 200 mas, 但是 POSS I 与 SDSS DR1 平均观测历元相隔 50 a, 所以自行误差为 3~3.5 mas/a。与 USNO-B 相比, 赤经、赤纬的自行精度分别从 5.30, 3.45 mas/a 提高至 3.60, 2.81 mas/a; 与 SDSS 相比, 相应的精度从 6.18, 3.65 mas/a 提高至 4.07, 2.88 mas/a。星表已用于星族和银河系结构的研究^[46]。

(3) NLTT 和 LHS 大自行星表。这两个星表的全称为 New Luyten Two-Tenths 和 Luyten Half-Second。1955—1961 年 Minneapolis 大学 Willem J. Luyten 编制了 20 000 颗自行大于 $0.2''/\text{a}$ 的 LTT 星表。1979 年 Luyten 由 BPM(全称 Bruce Proper Motion) 自行星表(包括从南极至赤纬 $+25^\circ$ 的 98 000 颗星的自行, 极限星等 $R \approx 16.5 \text{ mag}$) 和从北极至赤纬 -33° 的 POSS I 和 II($R \approx 20 \text{ mag}$) 的 2 个巡天观测的资料编制成 NLTT。该星表包括了 58 845 颗天体(极限星等至 19 mag)。他又从 NLTT 中找出自行大于 $0.5''/\text{a}$ 的 4470 颗天体编制成 LHS 星表, 天体在星表中的编号为 LHS 数。LHS 和 NLTT 星表中包括了许多具有天体物理意义的天体, 是以后许多测光巡天(如: 近距矮星搜索、晕星多波段研究) 以及光谱巡天(如: 新的近距星、冷晕亚矮星和白矮星的证认) 的候选天体的星表^[47,48]。

(4) Lowell 自行星表。1971 年 H.L.Giclas 编制了北天 8 991 颗自行大于 $0.2''/\text{a}$ 的天体的星表, 1978 年又编制了南天星表, 全天总共给出 11 749 颗天体的自行, 其中天体的编号称为 G 数或 Giclas 数^[6,49]。

(5) LSPM 自行星表。NLTT 和 LHS 在 -32.5° 以南和银道面 $\pm 10^\circ$ 内是不完备的, 特别

是暗于 $R=16$ mag 的天体问题更为严重, 另外, 还存在区域误差。2002 年 Lepine, Shara & Rich 用 DSS(历元相差 14~45 a) 寻找大自行的星, 此项工作属于 NASA 的 NStar Program。LSPM 北天星表是北天 $20\,000\text{ deg}^2$ 自行大于 $0.15''/\text{a}$ 的巡天, 包括至 $V = 21$ mag 的 61 977 颗星。USNO-B1 和 2MASS 提供光学和红外星等, 星表的编号为 LSR。对于 V 亮于 19 mag 的天体而言, 在银纬 $b = \pm 15^\circ$ 天区以外星表的完整性为 99%, 而在 $b = \pm 15^\circ$ 天区内的完整性为 90%。LSPM 中发现了 28 000 颗大自行的星^[50]。至 2008 年 LSPM 用 SERC-J、SERC-I、SERC-SR 的照相巡天底片将其已扩充至全天, 包括自行大于 $0.18''/\text{a}$ 的 122 000 颗星。位置精度为 $0.12''$, 赤纬 -30° 以北暗星的自行精度为 10 mas/a , 南天为 20 mas/a , 这个星表将取代 LHS/NLTT 星表的重要地位。用 LSPM 的测光距离和自行可以研究太阳附近 ($d < 100\text{ pc}$) 红矮星的本地运动, 在今后所有的 LSPM 星具有精确的视差后, 也可以研究太阳附近恒星运动的精细结构^[51]。

由于 LSPM 在低银纬, 特别是银心方向是不完备的, 而大自行星表编制又极具重要意义(如在缺少三角视差资料的情况下, 探索大自行天体是研究太阳附近 25 pc 范围内天体的一种方法; 大自行星表也是证认低光度天体近距星族的有用工具; 大自行巡天又是检测高速星的有用工具^[52]), 所以天文学家对星等暗于 16 mag 的大自行星特别感兴趣, 从而开展了许多大自行星的测定: 如 (a) SCR(全称 SuperCOSMOS-RECONS) 自行巡天。它包括南银极附近 5000 deg^2 的天区, 在 $R \approx 18$ mag 时, $\sigma_\mu \approx 10\text{ mas/a}$, $R \approx 21$ mag 时, $\sigma_\mu \approx 50\text{ mas/a}$ ^[53]; (b) LEHPM(Liverpool-Edinburgh high proper motion survey) 计划。此星表用围绕南银极 3000 deg^2 的 SuperCOSMOS 资料(扫描 ESO 和 UK 的 131 个天区 Schmidt R 波段底片得到) 编制的, 星表包括 6 206 颗自行大于 $0.18''/\text{a}$ 的星^[54]; (c) EROS 2(Experience de Recherche d'Object Sombres) 大自行星表, 其主要目标是通过智利 La Silla 1 m Marly 望远镜的大自行巡天寻找晕白矮星^[55]; (d) Calan-ESO 自行巡天。简称 CE 星表, 用南天 ESO R 的施密特底片测定 542 颗自行大于 $0.2''/\text{a}$ 的星, 在 $7.5\text{ mag} > m_R > 19.5\text{ mag}$ 时, 自行精度为 $\pm 0.03''/\text{a}$, 运动位置角的误差为 $\pm 12^\circ$ 。这些星的测光在 CTIO 0.9 和 1.5 m 上进行, 其中发现了第一颗 free floating 棕矮星 Kelu-1^[56,57]; (e) EACR(Estacion Astronomica de Cerro El Roble) 自行计划。用智利大学天文系 Cerro Calan 天文台的 Maksutov 天体照相机 (70/100/200 cm) 进行大于 $0.2''/\text{a}$ 的自行巡天观测, 其计划观测 118 个天区, 每个天区 $5^\circ \times 5^\circ$, 计划发现 2 348 颗新的大自行天体和重新发现 1 113 颗 LTT(Luyten Two-Tenths) 星^[58]。(f) 在 NASA 近地小行星巡天的 NEAT(Near Earth Asteroid Tracking) 计划的 SkyMorph 数据库中, 发现了 11.0~18.0 mag 的大自行星, 如 1996 年 5 月—2001 年 12 月巡天发现自行 (5.05 ± 0.03) $''/\text{a}$ 的新的大自行星 SO 025300.5+165258^[59]。

除了上述位置和自行测定外, 有些自行的测定是为了寻找暗物质、近距星、亚矮星、白矮星、棕矮星和 L 型矮星、晕星、和分离大的双星时的副产品, 如: (a) 在棕矮星运动计划 (Brown Dwarf Kinematics Project, BDKP) 中的自行计划是用 CTIO 1.5 m 近红外的照相机 CPAPIR 和 KPNO 1.3 m 的 TIFKAM 照相机以及 CTIO 0.9 m I 波段照相机测量 100 颗已知 M 晚型星、L 和 T 型星的自行, 其中 $\mu > 0.5''/\text{a}$ 的占 25%, $\mu > 1.0''/\text{a}$ 的占 5%, 与 2MASS 第一历元相隔 7.3 a, 自行精度为 $10\sim 30\text{ mas/a}$ (在确认的 L 和 T 型矮星中仅 13% 有视差, 具有自行的少于 50%, 8% 有视向速度)^[60]; (b) 为了寻找近距的大质量晕天体 (Massive Compact Halo

Objects, MACHO), 用 UKST B_J 和 R 底片以及 ESO-SRC R 底片找到两颗大自行星 F351-50 和 F821-07, 其自行分别为 2.33 和 $1.72''/a$, 星等 $B_J = 19.76$ 和 18.91 mag [61]。

2.3 视差星表

众所周知, 最完整的地面视差表是 1995 年 GCTSP (General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes) 第 4 版本, 也称 YPC (Yale Parallax Catalog), 它包括了 1995 年前所有照相和 CCD 的视差观测, 共有 8112 颗星的 15 994 个视差值 [28]。Hipparcos 星表发表了用空间方法测定的 118 000 个视差值, 在 $V = 7.3 \sim 9.0 \text{ mag}$ 范围内是完整的, 星表最暗可至 $V = 13 \text{ mag}$, 但不能给出近距白、红和棕矮星 (占太阳附近星族的 80%) 的视差。尽管 Hipparcos 星表中的视差存在系统差, 但是在重新归算 Hipparcos 资料时已给予修正 [62]。三角视差能确定太阳附近的成员, 在双星系统中计算质量, 决定星团的距离, 也是对银河系和近距星系星族研究的补充。YPC 和 HIP 后地面视差和 HST 的测定值约有 480 个。本节描述 YPC 和 HIP 后的地面视差观测计划 [63]。

(1) 美国 USNO 的视差计划。美国海军天文台安放在旗杆镇的 1.55 m 天体测量反射望远镜在 1964 年 3 月开始了照相的视差计划。观测星等范围为 $10 \sim 16 \text{ mag}$, 总共发表了 994 颗星的视差值, 照相方法测定视差的精度为 $\pm(2 \sim 4) \text{ mas}$ 。20 世纪 80 年代中开始用 CCD 测定 $16 \sim 20 \text{ mag}$ 的暗星视差, 至 1994 年已用 CCD 方法测定了 100 多颗星的视差, 精度达 $\pm 1 \text{ mas}$, 最好结果为 $\pm(0.5 \sim 0.7) \text{ mas}$ 。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, 而亚矮星中的 F~G 星可以作为星系球状星团的距离校准器, 它们用以研究核聚变的天体。

1993—1999 年 8 月 USNO 设计了 ASTROCAM 红外照相机, 2000 年 4 月安装在 1.55 m 望远镜上, 9 月正式开始棕矮星的视差和自行计划。2004 年 Vrba 等人用 2000 年 9 月—2002 年 11 月的观测结果发表了 22 颗 L 型矮星和 18 颗 T 型矮星的视差和自行, 精度分别为 4.86 mas , $8.23 \text{ mas}/a (\Delta t \approx 1.34 \text{ a})$ 和 3.86 mas , $5.20 \text{ mas}/a (\Delta t \approx 2.03 \text{ a})$, 并与 ESO 3.5 m NTT (New Technology Telescope) 视差计划中 7 颗共同星作比较, 其中 2MASS J104753+2124 的视差和自行, 以及 2MASS J121711-0311 的视差有较大差别, 原因还不清楚。若观测时间至 3 a, 精度可望达到 1 mas [64]。

(2) CTIOPI 计划。全称 Cerro Tololo Inter-American Observatory Parallax Investigation, 开始于 1999 年 8 月。NOAO Survey Program 用 CTIO 0.9 m (2048×2048 CCD, $0.401''/\text{pixel}$) 和 1.5 m 对太阳邻近 25 pc 以内的红、白、棕矮星开始 CCD 的视差观测计划, 精度为 3 mas , 分光观测用 CTIO 1.5 m 和 4.0 m 望远镜进行。2003 年 2 月纳入 SMART (Small and Moderate Aperture Research Telescope System) 计划, 此计划使用 CTIO 4 个 1 m 左右的望远镜, 天测和测光用 0.9、1.0、1.3 m 望远镜, 光谱用 1.5 m 望远镜, 观测目标选择 CNS3 和 Nstar Compendia。继而与 Northern Arizona University 合作进行了 ASPENS (Astrometric Search for Planets Encircling Nearby Stars) 计划, 至今 CTIOPI 已发表 4 次结果, 观测了 440 颗星, 得到近距恒星系统的 136 个视差值。特别应指出的是, 智利大学的 Edgardo Costa 和 Rene Mendex 发现了亮度只及太阳的 1×10^{-8} 、离地球 4.97 pc、第 48 颗最近地球的棕矮星 DENIS 0255-4700 (第 3 颗最近地球的 L 型矮星), 它是观测到的太阳系外最暗的这类天体, 其绝对星等 24.4 mag , 比太阳暗 20 mag [65,66]。

(3) 法国 Bordeaux 视差计划。2007 年 Ducourant 等人给出 2001 年 8 月至 2004 年 7 月用 ESO 1.5 m Danish 望远镜和 ESO 2.2 m 望远镜测定 15 颗高速度晕白矮星候选者的三角视差，其精度为 1~2 mas。对 6 颗天体的相对误差为 5%，3 颗天体为 12%，2 颗天体为 20%，还有 4 颗星因为距离太远 (> 100 pc) 而不能测定。从测定可知，6 颗是晕星，5 颗是厚盘星。因为太遥远而不能测定的 4 颗星没有结论。另外，计划用 ESO NTT 3.5 m 望远镜花 2a 时间 (可有 4 次视差距最大) 测定 $d < 100$ pc 星的视差。从 1997 至 2007 年，这个计划已进行了几年的准备工作^[67,68]。

(4) L 和 T 型星的视差测定。1988 年和 1995 年分别发现了棕矮星 GD 165B 和 Gl 229，其光谱型在 M 型以外，分别称为 L 和 T 型星。由大天区的红外巡天和 Sloan 巡天，至 2007 年 10 月 5 日已发现 606 颗棕矮星，在 50 pc 内有 493 颗。由于 Gaia 的极限星等为 20 mag，所以能观测到的这类星将少于 400 颗，在 50 pc 以内暗于 20 mag 和 50 pc 以外的天体都不能观测到。要观测暗于 Gaia 极限星等的恒星，需要用有 IR 检测器的 4 m 望远镜。了解亚矮星的演化可更好地了解银河系的历史，并由距离、自行和亮度推算双星系统的质量和年龄，全球有 6 个单位 7 个组在测定 L 和 T 型星的视差，如 France OB、USA AMNH (即 BDKP 中的视差计划)、Brazil ON、Germany ARI、Italy OATo、Australia UNSW^[60,69]。

2.4 天体测量视向速度

天体测量视向速度是指根据天体的视差变化、自行变化、移动星团大小变化来确定的天体的视向速度，具体情况可以概括出以下三点：(a) 在毫角秒天体测量精度下，近百年的长期观测可以用自行变化方法推算视向速度，精度为几十 km/s。在不考虑星团本身的膨胀速率误差时，用移动星团法测定视向速度的精度最高 (好于 1 km/s)，这已为天体物理学家所关注；(b) 如果空间天体测量卫星 SIM 和 Gaia 成功实施，天体测量精度将能达到 μas 量级，用天体测量方法测定视向速度的精度可达 km/s 量级；(c) 比较光谱方法与用天体测量方法测定的视向速度，将为研究恒星大气脉动、恒星风、恒星自转等现象提供新的研究途径。2000 年第 24 届 IAU 大会通过两个 C 类型的决议：分光的“视向速度测量值 (指质心的)”和“天体测量视向速度”的定义^[70]。至今，天体测量方法测定视向速度的精度尚不及天体物理方法，所以至今仍采用光谱的多普勒位移测定视向速度。

3 天体物理星表

3.1 测光星表

测光是确定天体的星等和颜色。它是用安装在望远镜上的辐射探测器测定天体的照度，常用观测波段的视星等表示。由于检测器不同，曾有目视星等表、照相星等表和光电测光星等表。在 20 世纪 90 年代 CCD 取代照相底片作为检测器后，天体的测光巡天常常与位置测定一起进行。本节介绍各个天体观测计划的结果发表后，有关机构收集和编制的测光星表，如 GCPD 和 UBV 光电测光星表，也给出了巡天的测光星表，如 GSPC。

3.1.1 各种测光星表

(1) GCPD (General Catalogue of Photometric Data)。25 年以来，瑞士 Lausanne 大学天文研究所一直从事测光资料的收集。共收集 1953—1995 年的 2 526 篇文章，建立了 2 075 000

颗恒星和伴星的 4 000 000 个数据的测光资料数据库。由于使用不同的光电倍增管、滤光片, 归算方法、标准星的选择不同, 望远镜的不同光学性能, 测光资料数据库现有 78 个系统, 其中包括 1 000 颗以上恒星的有 26 个系统, 主要有 UBV 、 $uvby$, Geneva 7-colour 等。其中有宽带的 UBV 和 RI Cousins 系统, 以及中等宽度的 $uvby$ 、 DDO (David Dunlap Observatory)、 $UBVRI$ [71,72]。

(2) UBV 光电测光星表。1968 年 Blanco 等人发表了光电星表后, 瑞士 Lausanne 大学天文研究所与 Strasbourg CDS 合作开展了在 Johnson 和 Morgan UBV 系统中的测光资料编制。1977 年 Mermilliod 和 Nicolet 加入了 1966 至 1976 年的资料发表了 UBV 星表第 2 版, 其中包括 53 845 颗星。为了准备依巴谷输入星表, 1986 年 Mermilliod 用 1977 年版本和 1983 年的《1976—1982 年补编》, 以及 1982 年至 1985 年底的资料编制了 UBV 测光星表第 3 版。它包括了 87 267 颗星的 136 719 个数据, 给出 V 星等、 $B-V$ 和 $U-B$ 色指数。以后, 又加入至 1989 年的资料, 至 1993 年又再包括了 1990、1991、1992 年的资料, 并在 1993 年庆祝 Johnson 和 Morgan 关于标准星、第一个星团观测和 UBV 系统的文章发表 40 周年时, 发表了第 4 版本的 UBV 星表, 它包括了 107 996 颗星, 169 826 次测量。它是 GCPD 中最主要的星表 [73,74]。

(3) 大自行星的测光星表。1979 年 Eggen 发表了赤纬 $+30^\circ$ 以南、自行大于 $0.5''/a$ 和 $V < 15$ mag 的大自行光电测光资料。1996 年 Weis 发表了用 Kitt Peak National Observatory 0.9 m 反射望远镜进行赤纬 $+30^\circ$ 以北、 $7 \text{ mag} < V < 15 \text{ mag}$ 的大自行 LHS 星的 B, V, I 波段测光的结果, 总共用了 10 a 完成该项工作 [75,76]。

(4) OGLE 星表。Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE) 是 Carnegie Institution of Washington 在 Las Campanas Observatory 1.3 m 望远镜进行的测光观测, 以便用“食的方法”发现外星行星(exoplanet, 按照中国天文学会名词审定委员会审定的《英汉天文学名词》的译名), OGLE 星通常很暗, 其 $V = 15 \sim 17 \text{ mag}$ 。2003 年 2—7 月 GOLE III 和 IV 观测银盘 Carina, Centaurus and Musca 星座处 6 个 $35' \times 35'$ 天区, 以及 2004 年 3—7 月对其中 3 个天区作附加观测, 得到 230 000 颗星的测光资料, 精度为 0.01mag。如果与分光方法相结合, 可得到行星的大小和质量, 以便研究行星的结构和地外行星系统的演化。OGLE III 已发现 170 颗食外星行星 [77]。

(5) GSPC 星表。Guide Star Photometric Catalog (GSPC) 曾发表 GSPC-I、和 GSPC-II(如有 GSPC2.1 和 GSPC2.3 版本)。它们分别包括 1 477 和 1 780 个测光序列。后者采用了 10 个 1 m 左右的望远镜(如 Kitt Peak 1990—1999、Wise 1989—1991、Cerro Tololo 1989—1998、ESO-La Silla 1991—1998 等)的测光观测资料, 并用 Landolt 标准星星表把仪器星等用标准星化算至 Johnson-Kron-Cousins 系统。GSPC-I 的测光精度为 0.4 mag, GSPC 2.3 给出 Johnson-Kron-Cousins 的照相星等 B_J, R_F, I_N , 也可提供 V_{12} 和 O 星等, 极限星等分别为 22.5、20.5、10.5 mag。在 20、19、18 mag 时测光精度分别为 0.18、0.15、0.20 mag (对非恒星源的亮天体测光精度为 2 mag) [33,78]。

除此以外, 照相、CCD、HST WFPC2、SDSS、Hipparcos 和 Tycho、MACHO 等都有其本身的测光系统。

3.1.2 测光标准星

由于各天文台之间存在仪器误差, 因此必须用测光标准星来校准仪器零点。标准星包括可见光和红外标准星, 现举例如下:

(1) *UBVRI* 标准星。A.U. Landolt 在 1983、1992 和 1993 年发表了 3 次标准星, 第 2 次是在赤道附近 2° 带附近, 526 颗 Johnson-Kron-Cousins 测光系统标准星, 大部分星的星等范围为 $11.5 \text{ mag} < V < 16.0 \text{ mag}$, 色指数范围为 $-0.3 < (B - V) < +2.3$ 。1993 年的测光标准星的星等范围为 $14.5 \text{ mag} < V < 21.0 \text{ mag}$ 。候选的观测星来自: (a) 亮星选自 1973 年 Landolt 星表; (b) 通过一个照相计划在赤道卡普坦 92-115 选区选择候选的标准星, 底片由 CTIO 的耶鲁 1 m 望远镜得到, 此处有选区中非常红和蓝的星, 极限星等为 16~17 mag; (c) Lowell 天文台 Bulletin 中的 Giclas 表; (d) Palomar-Green survey 星取自 Green et al. (1986) 和哈佛年刊 Vol.101(Durchmusterung of Selected Areas)。用 CTIO 1.5 m 望远镜, 光电倍增管用 RCA 31034A 型。在 1977 年 9 月—1991 年 2 月进行观测, 每 19 个夜晚平均测量 29 次, 这些能为全球中型和大型望远镜提供内部一致的、均匀的宽带的测光系统。GSPC2.1 用了 Landolt 标准星^[79]。

(2) SDSS 标准星。美国海军天文台用 1 m 望远镜于 1998 年 3 月—2000 年 1 月的观测给出了 158 颗测光标准星网络 (8~13 mag), 用于校正 SDSS 2.5 m 的巡天照相机测定的仪器星等。它包括 63 颗 Thuan & Gunn 标准星, 加入 Sandage 等 36 颗星, 其他是 *UBVR_CI_C* 赤道标准星 (这些星对 2.5 m 望远镜已达到饱和)。它们聚集在赤道附近, 在南天的标准星较少。三个基本标准星 (BD+17.470 8°, +26.260 6°, +21.060 7°) 作为每晚测光的零点。另外, 基本星可以把系统扩充至较红的星和南半球, 方便与 2MASS 衔接。每晚 SDSS 2.5 m 和 0.5 m 测光望远镜同时观测暗于 14 mag 的二级校正星 (共有 4 428 颗), 这些星已用测光望远镜对标准星网络的星给予绝对 AB 系统的校正^[80]。

(3) 红外标准星。这些星在 *JHKL* 波段, 其中包括南、北半球 16 颗 $K = 3 \sim 4 \text{ mag}$ 的亮标准, 精度为 $\pm 0.005 \text{ mag}$, 40 颗 $K = +7 \text{ mag}$ 的暗标准。其中 26 颗 A 型星的赤经间隔为 3 h, 赤纬在 $+40^\circ \sim -40^\circ$ 之间, 第 2 组是赤纬 0° 附近的晚型矮星和巨星。星等误差为 0.01 mag ^[81]。

3.2 光谱星表

天体分光学是应用光谱分析和分光光度测量方法来研究天体的特性。与其它方法配合, 不仅能定性和定量测定天体的化学组成、温度, 而且还能确定天体的距离、大小、质量、密度和运动速度, 研究天体大气的物理过程和结构模型等。以下列出若干光谱星表:

(1) HD 星表。1918—1924 年 Cannon & Pickering 编制 Henry Draper Charts (HD), 包括 225 000 个天体的位置、光谱型和星等。1928 年第一次向暗星扩充, 这两次合并在一起称为 HD 星表, 总共 325 000 个天体。1949 年 Cannon 和 Walton Mayall 以图的形式给出第二次的 HD 扩充, 包括 275 张星图。1991 年 Röser 第一次尝试用 PDS 测微密度计量度星图上 HDEC(Henry Draper Extension Charts) 恒星的直角坐标, 并与赤纬 $-2^\circ \sim +32^\circ$ 的 AC 星表证认, 由此把 HDEC 从图形转换为星表。1995 年 Nesterov 发表了最后的 HDEC 星表, 它包括 86 933 颗恒星 (大部分星亮度在 10~11 mag 之间) 的位置 (对应于 J2000.0)、自行、星等和光谱型。在 J2000.0 时的位置精度为 $0.5''$, 96% 恒星的自行精度为 5.5 mas/a , 恒星的命名为

HD 数。这是“天体测量改进 HD”计划的第一部分,今后将编制 4 000 000 的 HD 精确位置、自行、星等和光谱分类的星表^[4,5]。由于该星表具有光谱分类,所以对研究恒星运动学和天体物理的应用具有很大的吸引力。

(2) MSS 星表 (Michigan Spectral Catalog)。Houk N. 用安放在 CTIO 的 Michigan Curits 施密特望远镜拍摄的物端棱镜底片重新在 MK 系统中证认 HD 星表中的星。Univ. Michigan Dept. Astron. 曾在 1975、1978、1982、1988、1999 年按赤纬范围 5 次发表“Michigan Catalog of Two dimensional Spectral Type for HD Stars”^[82]。例如, Michigan Catalogue of HD Stars, Vol. 1 包括了赤纬 $-90^\circ \sim -53^\circ$ 的 HD 星; 在 Vol.5 中包括 $-12^\circ \sim +5^\circ$ 的 HD 星。

(3) 恒星光谱证认总表 (General Catalogue of Stellar Spectra Classified in Morgan-Keenan System)。1941 年 William W. Morgan 和 Philip C. Keenan 发表了 MK 分类系统, 每颗星由光谱型 (有时称为温度型) 和亮度分类 I~V (I 是最亮的超巨星, II 是亮巨星, III 是巨星, IV 是亚巨星, V 是矮星) 两部分组成, 如 O9 V、B2 V 等。MK 系统用一组标准星定义, 一直沿用至今。对于特殊的 M 型矮星也采用前缀 sdM 和 esdM 表示, 它们分别为 M 型亚矮星和具有 Ca II 吸收线的 M 型亚矮星 (extreme subwarfs)。1983 年 Kennedy 发表了 MK Classification Catalog Extension, 1999 年 Buscombe 给出这个星表的第 14 本。从光谱与已知特征的标准星比较, 可以估计有效温度、光度和丰度 [m/H], 有效温度和亮度校正的分类系统通过采用适当的模型可以计算恒星距离、质量、半径和年龄。但是也有一些不能用 2 维的 MK 系统描述的天体, 如 Wolf-Rayet 星、亚矮星、白矮星^[83]。

(4) 晚型巨星光谱巡天。Fan Mountain Observatory 用 FOBOS 系统对从 2MASS 星表中选择 749 颗晚型巨星 (晚型 K 和早型 M 巨星是由 $J-H$ 和 $H-K$ 从 M 型矮星中区别出来的) 进行光谱巡天, 得到中等分辨率的光谱以及 Mg/Fe 和 Na/Fe 的相对丰度, 视向速度的精度为 5 km/s, 分光 [Fe/H] 精度好于 $\sigma_{[\text{Fe}/\text{H}]} = 0.25 \text{ dex}$ 。从 UCAC2 得到位置和自行, 加入视向速度可得到这些星的 6 维空间运动, 并由色指数 - 星等关系估计测光距离。由巡天得到这些星的天体测量和天体物理参数, 以便研究银河系中厚盘的形成和晕的亚结构^[84]。

(5) BDSS (Brown Dwarf Spectroscopic Survey)。1998 年 IAPC 的 Ian McLean 和 J. Davy Kirkpatrick 考虑用 Keck-II Near-Infrared Spectrometer (NIRSEPC) 对 M 型小质量和亚恒星质量天体和 L、T 型矮星进行近红外中等分辨率 ($R \approx 2000$) 到高分辨的光谱观测, 1999 年 4 月得到了第一条光谱, 科学目的为研究恒星大气和检测双星^[85]。

(6) SDSS (Sloan Digital Sky Survey)。SDSS 主要测量星系和类星体的红移, 但现在已发展为数字测光和光谱测量以及天体测量的巡天计划。SDSS 巡天包括北银极的 $1/4$ 天区, 和南银极附近 300 deg^2 天区 5 色高分辨率的光学图像, 最后天空覆盖 π 球面度 ($10\,000 \text{ deg}^2$), 对超过 10^8 颗恒星和相同数量星系给出天体测量和测光资料, 并给出 10^6 个星系和 10^5 个类星体的光谱。在 5 个波段 $u g r i z$ 的测光精度 ($r < 22.5 \text{ mag}$) 为 0.02 mag, DR6 给出 $9\,583 \text{ deg}^2$ 的 2.87×10^8 个天体的测光数据。SDSS 对亮于 20.5 mag 源的位置的绝对精度为 100 mas, 各个波段位置测定的相对精度为 20~30 mas。并具有 5 个测光波段的天体测量结果, 由此可发现色位移 (Color Induced Displacement) 双星。与 POSS I 测定 $g < 19.5 \text{ mag}$ 星的自行为 3 mas/a, 在 1 kpc 处, 切向速度误差为 15 km/s, 这与 SDSS 光谱测量的视向速度误差相仿。由 SDSS-POSS 自行把 Hipparcos 资料中 100 pc 范围内的 12 000 颗星扩展至 10 kpc 内 2×10^7 颗

主序星。另外还发表了 80 000 颗星的视向速度。虽然精度不高,但是在银河系外盘和晕中,可以发现新的结构,如:在距银道面 5 pc,离银心 18 kpc 处发现了 500 颗星的一个环,称为“Monoceros 环”,并已用 2dF 视向速度资料证实;在 Canis Major 矮星系的背景中发现了附加的结构;用 M 型巨星的视向速度发现了 Sagittarius 矮星系的潮尾系统^[15,86]。

除此以外,2003 年 Wright 等人给出了 351 864 颗 Tycho-2 星的光谱型星表^[87]。通过 Tycho-2 的 2.5×10^6 颗星的位置、自行、 B_T 和 V_T 星等数据与 Michigan Catalogue、Catalogue of Stellar Spectra Classified in Morgan-Keenan System、MK Classification Catalog Extension、FK5、PPM 都作了相互证认。我国 LAMOST 也将用于测定恒星的光谱。

3.3 视向速度

视向速度是现代天体物理的观测资料。它不仅包含速度,而且也有恒星大气的动力学、引力红移和其他效应产生的分量。视向速度是 6 维天体位置参数之一,可用于发现双星和外星行星、宇宙膨胀、银河系演化、太阳内部震动等研究工作。IAU Commission 30 (Stellar radial velocity) 是 IAU 的恒星视向速度专业委员会,1998 年 6 月在加拿大 Victoria 召开了 IAU Colloquium170“Precise Stellar Radial Velocities”,集中讨论了与恒星视向速度有关的问题。

在南天智利 La Silla 欧南台 1.54 m Danish telescope 和北半球安装在 Haute-Provence 天文台 1 m Swiss telescope 上都分别安装了 CORAVEL (COR-reIation Radial VELOCities) 分光仪,它们测定视向速度的极限精度为 200 m/s。从 1993 年底开始 Observatoire de Haute-Provence 1.93 m 望远镜上使用了 fiber-fed echelle spectrograph ELODIE,它是 CORAVEL 光电互相关分光仪的提高型(两者都是 echelle 分光仪,分辨率分别为 20 000 和 42 000),以后又安装在 La Silla Observatories 1.2 m Euler Swiss 望远镜上,称为 CORALIE。从 1998 年夏季开始进行长期的寻找南天外行星的巡天计划^[86],对亮于 9 mag,露光时间小于 30 min 的情况,其测定视向速度的精度为 15 m/s,而观测 16 mag 时,精度为 1 km/s^[88]。以日内瓦天文台为首的工作组研制了高分辨率 HARPS fiber-fed echelle spectrograph (HARPS 的全称为 High Accuracy Radial velocity Planetary Search project),并安装在智利 La Silla ESO 的 3.6 m 望远镜上。测定视向速度的精度从 5~10 m/s 提高至 1 m/s。科学目标为寻找外星行星和研究星震学^[89]。

此外,还有 FEROS (Fiber-fed Extended Range Optical Spectrograph) 放在 La Silla 1.5 m ESO 望远镜上。日本东京天文台与东京大学天文研究所研制的近红外巡天卫星 JASMINE 上的近红外 (0.9~1.35 μm) 高分辨率 ($R_{\text{max}}=100\ 000$)、高灵敏度的分光仪 WINERED (Warm Infrared Echelle spectrograph to Realize Extreme Dispersion),已于 2008 年底完成,可安装在各种 4~10 m 的望远镜上^[90]。

3.3.1 视向速度巡天和星表

(1) Geneva-Copenhagen Survey。用智利 La Silla ESO 的 Danish 1.54 m 望远镜和法国 Haute-Provence 天文台 Swiss 1 m 望远镜的 CORAVEL 光电互相关分光仪(精度 0.25 km/s)进行了太阳附近 40 pc 内的巡天观测,它测量了太阳附近 13 464 颗 F 和 G 型星的视向速度。加入以前测定的 675 颗近距的 F 和 G 型矮星后,2004 年 Nordström 用已发表的 $uvby\beta$ 测光、依巴谷视差、第谷自行和已知的视向速度资料得到 14 139 颗 F 和 G 矮星的年龄、金属丰度和运动的特性^[91]。2005 年 Famaey 发表了 CORVEL 在北半球对 6 691 颗 K 和 M 巨星的观测

结果^[92]。除此以外, Geneva-Copenhagen Survey 还有寻找太阳附近 3 000 对分光双星的计划, 而从分光双星中寻找外星行星是巡天观测研究发展的新领域^[93]。至 2007 年 10 月全球已检测到 250 颗外星行星, 而且还在不断增加, 它们的质量从小于海王星至大于 15 倍木星, 运行在从圆形至大偏心率的轨道上。

(2) CORAVEL data base。它是由 CORAVEL 分光仪近 20 a(1978—1998) 和高精度的 ELODIE 分光仪观测得到。1995 年 Duflot 等人发表平均视向速度表的 WEB 表, 它是由 1963 年 Wilson、1978 年 Evans 的观测资料, 并加入 1989 年 Batten 等人分光双星系统观测资料组成的^[94]。至 2000 年 Barbier-Brossat M, Figon P 在 WEB 表中加入了至 1990 年 12 月的观测, 总共有 20 574 颗星的平均视向速度^[95]。视向速度星表至 2005 年 6 月 30 日(2005.5 版本) 已有 73 449 颗星的平均视向速度^[96]。

(3) RAVE(Radial Velocity Experiment)。RAVE 工作组提出在 2006—2010 年间用 Anglo-Australian 天文台(简称 AAO) 的 UK 1.2 m 的 Schmidt 望远镜和北半球的相应望远镜(如北京天文台的 LAMOST、日本的 Kiso 和 Tautenburg 施密特望远镜) 进行全天区测定视向速度的计划。这个恒星运动学的数据库将比现在提出的其他巡天计划大 3 个数量级。2003—2005 年期间用 AAO 1.2 m 望远镜(视场 30 deg²) 的 6dF 系统, 在其未安排观测的 180 d 中观测了 10⁵ 颗星, 精度可以达到 2 km/s。观测目标大部分是依巴谷星表中的成员星, 也有一些选自 Tycho-2 星表, 星的色指数范围为 0.4 < B - V < 0.8。如果这些星没有三角视差, 则从观测资料可以得到它们的测光距离, 6dF 光谱也提供了 [Fe/H] 的估计值。2006—2010 年在 40 deg² 视场中用新建的 Echidna 多光纤摄谱仪的 2 250 条光纤同时进行观测, 接收用 2k×4k CCD 的检测器, 这个设计优点是光纤的定位仅需要 5 min。巡天在 Ca 三重线区内时, 在 R = 10 000 处测定视向速度的精度为 1 km/s, 丰度 [Fe/H] 的精度为 0.1 dex, 对其中一半的星 (V < 15 mag) 可以估计较差的 [α/Fe] 丰度比。RAVE 巡天将给出 26×10⁶ 颗薄盘主序星、9×10⁶ 颗厚盘星、2×10⁶ 颗核球星、1×10⁶ 颗晕星, 以及距太阳 60 kpc 范围内 12×10⁶ 颗巨星的视向速度。至 2007 年 6 月 26 日用 AAO 1.2 m Schmidt 望远镜上 6dF 多天体分光仪已得到 196 131 颗星的 220 070 条光谱^[20,95]。

3.3.2 视向速度标准星

各天文台采用不同的终端测定视向速度, 如 CORVEL photoelectric cross-correction spectrometer、CfA (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) Digital Speedometer、Dominion Astrophysical Observatory (Victoria) spectrometer、ELODIE。为了比较不同仪器测定的视向速度和绝对速度的零点, 需要对一组标准星(近赤道, 赤经均匀分布、光度不变, 包括各光谱型, 视向速度和视亮度) 进行长期的观测, 以便剔除小幅度和长周期的双星以及变星, 如: 两个 CORAVEL 分光仪(长期的, 光电记录) 就对 111 颗标准星进行了近 20 a(1978—1998) 的观测; ELODIE 分光仪(CCD 记录) 的高精度观测给出了一组 38 颗 V = 4.27 ~ 7.64 mag 标准星作为扩充, 精度为 10~15 m/s^[97]。

1958 年 IAU Commission 30 陆续公布了 IAU 视向速度标准星。其中: 亮标准星包括 25 颗 V < 4.3 mag, 光谱型 F0 以及晚型矮星和巨星; 暗标准星包括 35 颗 V = 4.3 ~ 8.0 mag, 光谱型 F0 以及晚型矮星和巨星; Head-Fehrenbach 标准星由 21 颗 V = 7 ~ 9 mag, 光谱型 F 至 K 型的矮星和巨星组成, 总共 81 颗视向速度标准星。1991 年第 21 届 IAU 大会给出的视向

速度标准星是由上述表中剔除了变星和双星后的 72 颗星和 25 颗 G 矮星组成的。这组标准星的绝对零点好于 100 m/s [98]。

众所周知,对较远的天体,从天体的测光和光谱观测除可以得到星等、色指数以及元素丰度、视向速度以外,还可以得到测光距离和分光距离,但是都需要用三角视差来校正。2007 年 Ducourant 测定 15 颗高速晕白矮星候选者 ($V = 15.46 \sim 19.92 \text{ mag}$, $\pi_{\text{phot}} = 24 \sim 146 \text{ pc}$, $\pi = 19 \sim 90 \text{ pc}$) 得到测光距离大于天体测量距离: $\pi = 1.08\pi_{\text{phot}} + 3.21 \text{ mas}$ [44]。另外,一般而言,90% 星的分光距离和由三角视差得到的距离之间有: $|\Delta \lg d| < 0.2(\Delta \lg d = \lg d_{\text{tri}} - \lg d_{\text{sp}})$, 所以在缺少三角视差资料时,分光距离可以用于恒星统计学和恒星运动学的研究。但是也有个别星,特别是晚型星的 $|\Delta \lg d| > 1$, 这些星的分光距离应特别仔细考虑 [99]。

4 联合星表

为了对某类天体(如天琴 RR 型变星、太阳附近的近距天体等)进行研究,对这类天体或天区巡天发表的星表,不再单独发表天体测量参数或天体物理参数,而是发表包括两类参数的联合星表。

4.1 近距星表

近距星是人们飞出太阳系后的首选研究对象,其中有我们熟知的亮星,如 α Centauri(1.33 pc)、Sirius(2.62 pc)、61 Cygni(3.49 pc)、Procyon(3.49 pc)、Kapteyn's 星(3.90 pc)等,还有许多小的、暗的、红矮星组成的星族,特别是 M 型矮星,其亮度是太阳亮度的 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ 。其数量占太阳系附近所有恒星的 70%,质量几乎占了银河系这类恒星的 1/2。德国海德堡天文台 Gliese 在 1957 年发表了 CNS1 (Catalog of Nearby Star No.1, 表中恒星的名字用 G1 数表示),包括 20 pc 内 1 094 个天体,1969 年发表了 CNS2,1979 年发表了 CNS2sup。1991 年 Gliese & Jahreiss 又发表了在距离太阳 25 pc 范围内的近距星表 CNS3。它包括 3 264 个天体系统、3 803 个天体的天体测量、测光和分光资料,其中有 1 600 颗绝对星等 $M_K \geq 6 \text{ mag}$ 的 M 型矮星,这些仅检测到了近距 M 型矮星的 70%。1997 年 Jahreiss β 给出了 CNS 第 3 次修订本 [100,101]。1994 年 NASA 的 Nearby Star(Nstar)Program 发展为 RECONS(Research Consortium on Nearby Stars)Program,研究人员来自 Georgia State University、University of Virginia、Universidad de Chile 等。其主要目的为用光学(VRI)、红外测光(JHK)和三角视差,改进距离太阳 10 pc 范围以内所有星的完整资料(包括天体测量、测光、分光等);并给出所有星的特征。从 1994 年起已在 AJ 上系统地发表了 19 篇 The Solar Neighborhood series 的结果,至 2008 年 1 月已给出 354 颗近距天体(249 个天体系统、105 颗伴星),其中有 6 颗具有行星,如 GJ 176 有 1 颗行星、GJ 581 有 3 颗行星。以光谱型分类,其中 239 个天体具有 Ms 光谱、其次具有 Ks 和 Gs 光谱的分别为 44 和 21 个天体。南天用 SuperCOMOS RECONS 找到的近距星采用 SCR 命名。它是爱丁堡大学与 Georgia 大学的合作项目,检测南天(不包括银道面)自行大于 $0.4''/\text{a}$, $R \leq 16.5 \text{ mag}$ 的恒星 [10,102]。

4.2 SKYMAP 星表

1978 年 NASA GSFC 为测定飞船姿态而编制了此星表,天体测量用 SAO 星表,测光和光谱用 20 世纪 70 年代发表的各种资料,1978 和 1995 年改进了一些个别的错误。由于 20 世纪

80年代 CCD 的应用, 1996年发表了一个新的全天星表, 其中也包括了 RXTE(Rossi X-ray Timing Explorer) 卫星观测的 4 572 颗近红外天体的星等和颜色。称为 SKYMAP 星表的第二版或 SKYMAP 4.0 a, 即 SKY2000 第 1 版本。这是第一个完整的修订本, 可以用于天文研究, 包括了亮于 9 mag 的 299 099 颗星的位置, 95% 星的位置精度好于 $0.10''$ 。它的优点是包括天体的各种基本信息, 除位置和测光之外, 具有星表间的交叉认证、三角视差、地心惯性单位矢量、银道坐标、光谱型、双星、聚星和变星的信息、视向速度和 *UBVRI* 测光资料。1998 年采用依巴谷资料给出了 SKY2000 第 2 版本, 2000 年 6 月又给出包括 299 160 颗星的第三版本, 其中包括了 Submillimeter Wave Astronomy Satellite(SWAS) 的 CCD star-tracker 观测资料, 比第二版本增加了 61 个天体系统, 2002 年 4 月给出了 SKY2000 第 4 版本^[8,9]。与此相似, 资料比较齐全的还有耶鲁大学出版的亮星星表。1964 年耶鲁大学天文台 Hoffleit 首次给出 9000 颗亮星的位置、自行、视向速度、光谱型、颜色、星等和视差数据。以后, 又给出了 5 次修订本, 但是极限星等只有 $V = 7.10$ mag。这些星表的特点是全天的, 包括了天体测量、测光和光谱资料, 可用于银河系大尺度的研究^[103]。

4.3 双星星表

检测双星可以用分光、测光或光学观测等方法。虽然分光方法用来发现双星是比较简便的, 但是难以得到轨道倾角数据, 而轨道半长轴和伴星质量都与倾角有关, 所以双星的光学天体测量观测对恒星质量的测定、双星物理特征的研究、双星演化的研究都有重要意义。双星天体测量观测工作主要在 USNO 进行^[14]。

USNO 的 66 cm 折射望远镜主要用于双星的观测, 早期采用目视观测, 1990 年以后安装了谱斑干涉仪和 CCD, 2006 年 5 月安装了新的谱斑照相机, 采用了加强型 CCD。它能观测两星星等差达 3.5 mag, 角距离范围为 $0.36'' \sim 61.92''$ (平均为 $10.31''$) 的 11 mag 左右的双星。测定角距离 ρ 的精度为 18 mas, 测定位置角的精度为 $0.57^\circ/\rho$ 。此处, ρ 的单位为 ($''$)。1997 年 5 月和 9 月把 USNO 的谱斑干涉仪安放在 McDonald 天文台 2.1 m 望远镜上, 对 846 颗依巴谷星表中新的和有怀疑的双星进行了重新观测。USNO 的谱斑照相机还曾安放在 KPNO 与 CTIO 4m 和 Flagstaff Station 1.5 m 的望远镜上进行观测。1997 年后至 2007 年在 AJ 上发表了一系列共 13 次观测结果^[104]。

同样, 双星观测也在光学干涉仪上进行, 如: 为改进分光双星 Mizar A (ζ UMa) 的轨道而进行的观测; 也可以把谱斑干涉仪观测双星的资料与光干涉观测资料一起处理, 以得到更好的结果, 如对 κ UMa、 σ Her 和 ι Gem 双星的资料就进行过这样的处理。在光干涉仪上也发现过新的双星, 如 ζ Ori 等。除此以外, 还有亚利桑那 Kitt Peak 口径 3.5 m WIYN(Wisconsin-Indiana-Yale-NOAO) 望远镜的 RYTSI(RIN-Yale Tip-tilt Speckle Imager) 对依巴谷星表中有怀疑的双星进行了观测、意大利 di Brera 天文台用 INAF 1m 蔡司望远镜 PISCO 谱斑照相机(曾安装在法国 Toulouse Midi-Pyrénées 天文台 2m 的 Bernard Lyot 望远镜上, 1998 年后停止观测) 进行双星(角距离小至 $0.14''$) 观测。

除上述用谱斑干涉仪和其他单口径的高分辨率的天体测量技术以外, 也用长基线可见光/红外干涉技术观测双星, 如 Keck 干涉仪、VLTI(Very Long Telescope Interferometer)、SUSI(Sydney University Stellar Interferometer)、PTI(Palomar Tested Interferometer)、Mark III、NPOI(Navy Prototype Optical Interferometer) 和 CHARA Array 等^[105]。

双星星表有下述几类^[14]：

(1) 双星测量星表。它包括下列几种星表：(a) 华盛顿双星星表。美国海军天文台的华盛顿双星星表 (Washington Double Star Catalog, WDS) 是目前全球关于双星系统的主要天体测量动态数据库。共收录了 10 万多个系统的近 80 万组数据。该星表包括：星名、位置、自行、星等、光谱型，以及不同观测历元的位置角和角距离；(b) 双星干涉测量星表。目前第 4 本双星干涉测量星表收录了 7 万余个 (包括 67 943 个系统) 干涉测量得到的双星系统的各种观测数据。该星表包括：星名、位置、星等，以及不同观测历元的位置角和角距离及其部分数据的误差；(c) 第 2 本测光星等差星表。该星表给出了双星系统成员星之间的星等差，它可以通过恒星的经验质光关系为双星精确定位研究提供有关质量参数的外部符合检验。目前，该星表收录了 62 620 个系统的大于 20 万组的观测数据；(d) 直线轨道根数星表。它给出了一些无明显开普勒运动的系统的相对直线运动解。这些系统可能是长周期双星系统或光学双星系统。目前，该星表收录了 1 千多个有关系统的数据。

(2) 双星轨道星表。包括下列几种：(a) 第 6 版本目视双星轨道星表。它收录了 1 750 个系统的 1 850 个轨道信息。该星表具体包括：双星系统的名称、星等、轨道参数、轨道等级等信息，同时还给出了各双星系统的 2005—2009 年星历表。这里轨道等级指的是根据观测设备的性能、观测的次数、观测数据对轨道的覆盖率等指标给轨道数据确定的优劣等级。(b) 第九分光双星轨道星表。目前包含了 2 472 个系统和 2 898 个分光双星轨道的信息。该星表给出了各个分光双星的位置、分光轨道及误差、星等信息，同时还给出了近 600 个双星系统的视向速度观测数据，这为今后联合其它资料获取系统完整轨道的工作提供了方便^[106]。

(3) 双星质量星表。1995 年，Belikov 对 1968—1988 年间的双星系统的动力学质量进行了系统的搜集，给出了恒星质量星表^[29]。它包含了 360 个恒星的质量，同时标明了这些质量数据的来源以及得到的方法。1999 年，Svechnikov 在“Catalog of DMS-type eclipsing binaries”中给出了 113 个不相接食双星系统的子星质量。2003 年 Pribulla 在“Catalogue of field contact binary stars”中给出了 361 个相接双星系统的质量。2005 年，Dryomova 在“Approximate elements of eclipsing binaries”中给出了 33 个猎犬 RS 型食双星系统的子星质量。

上面介绍了几个目前关于双星的较常用的星表。此外，在 CDS 和最新的文献中还有一些有关双星的星表，如：Components of Double and Multiple stars、The CHARA Catalog of Orbital Elements of Spectroscopic Binary Stars、A catalogue of physical multiple stars 等^[107]。

4.4 HDF

HDF^[11~12](Hubble Deep Field) 包括两个天区。1995 年 12 月 18~30 日连续 10 天或 150 次轨道期间，HST 用 WFPC-2(Wide Field Planetary Camera-2) 和 NICMOS 分别在光学波段 (300、450、606、814 nm) 和红外波段 (1.1 μm 、1.6 μm) 观测了中心在北天球 $12^{\text{h}} 36^{\text{m}} 49.4^{\text{s}}$ ， $+62^{\circ} 12' 58''$ (J2000) $5(^{\circ})^2$ 的天区 (HDF-N)。1998 年 10 月观测了中心在南天 $22^{\text{h}} 32^{\text{m}} 56.2^{\text{s}}$ ， $-60^{\circ} 33' 03''$ 的天区 (NDF-S)，南天观测除了用上述两种仪器外，还用 STIS 与 NICMOS 观测相邻的 QSO J2233-606。尽管 HDF-N 和 NDF-S 的面积很小，但是光学观测能观测到目前最暗 ($V = 30$ mag) 的星系。用 Keck 望远镜进行了 HDF 的分光巡天，能观测到最遥远的星系，特别是大红移 ($z \approx 5.5$) 的星系和暗的 Lyman-break 星系，以研究星系演化和宇宙学。HDF-S 也是 UCAC(U.S.Naval Observatory CCD Astrograph Catalog) 观测的标准天区之一。

参考文献 [108] 描述了用 HDF 图像所得的各种研究结果。

4.5 非恒星天体星表

1971 年 De Veny 等人发表了 202 颗类星体和活动星系核星表, 即非恒星天体星表。随着观测的增加, 至 2006 年 Veron M.-P. 和 Veron P. 已给出了第 12 次修订本^[109]。包括 85 221 颗类星体、1122 颗蝎虎座 BL 天体 (BL Lac) 和 21 737 个活动星系 (包括 9628 个 Seyfert I 型星系), 列出了它们的 J2000 和 B1950 的赤经、赤纬、红移、 V 星等、色指数 $B-V$ 和 $U-B$ 、6 和 20 cm 的流量密度、绝对星等。现在 IERS(International Earth Rotation and Reference Systems Service) 用河外射电源组成的 ICRF 与光学参考架的联系都要用此表来选择源的对应体; 星表 (如 NPM 和 SPM) 绝对自行的推算, 也要选择这些类星体组成准惯性的框架。Gaia 将观测 400 000 颗类星体, 2008 年 Andri 从各个光学和射电星表给出 Gaia 初始 128 257 类星体候选天体的星表。尽管地面小视场的相对观测能达到亚毫角秒和微角秒, 但是在归算中必须考虑所用参考星的区域性系统误差, 并且通过观测河外参考源的对应体把相对自行或视差归算到绝对的相应值^[110]。

除此以外, 还有变星星表、星云星团新总表 (简称 NGC 星表) 和其补篇 (简称 IC 星表)、脉冲星星表等, 为了研究大、小麦哲伦星云的结构和演化, 也有它们的 $UBVI$ 测光巡天、发射线巡天等星表。

5 射电和红外星表

5.1 射电星表

用射电技术曾发现了超新星遗迹、射电星系、类星体、脉冲星和引力透镜源等。现在提出多波段观测仅局限于近距源, 射电源与光学和红外的亮星系是不同的, 通常近距源 (距离 <100 Mpc) 较少, 而射电天文望远镜能观测在宇宙边缘亮的 AGN。另外, 大部分射电星系和类星体具有中等的红移 $< z > \approx 0.8$ 。众所周知, 1995 年给出的 ICRF 是由 IERS 根据全球 VLBI 观测实现的。ICRF-1 源的数目仅 608 颗, 其精度为 $250 \mu\text{as}$ 。定义源为 212 颗, 由其构成的坐标轴的指向精度约为 $30 \mu\text{as}$ 。随着观测的增加出现了 ICRF-Ext.1 和 ICRF-Ext.2, 但是定义源和轴向没有改变。IERS/IVS 工作组将在 2009 年向 IAU 第 27 届 IAU 大会提出 ICRF-2, 将根据源的稳定性和结构指数重新考虑定义源。其中除了包括 IVS 观测数据以外, 还将包括 1994 年开始用 VLBA 进行的校准源巡天 (VLBA Calibrator Survey, VCS) 观测计划给出的 VCS 星表。这些源只观测 1 个时段, 所以数据质量比 IVS 的资料差, 也没有变化的信息^[111]。下面是一些经常使用的射电星表^[112,113]。

(1) NVSS(NRAO/VLA Sky Survey Catalog)。1993 年 9 月—1996 年 10 月 NVSS 用 VLA(Very Large Array) 的 D 和 DnC 结构对 $\delta \geq -40^\circ$, $\Omega = 10.3$ 球面度进行 1.4 GHz 巡天。NVSS 检测的源多数是亮源 (如 UGC 源), 由此得到: (a) 一组 2326 个 $4^\circ \times 4^\circ$ 的“立方体 (cube)”, 包括 Stokes I、Q 和 U 的像; (b) 亮于 $2.5 \text{ mJy beam}^{-1}$ 的星表, 其中包括 2×10^6 个源, 即约 50 deg^{-2} 。对 4×10^5 强源 (15 mJy) 的位置精度 $\leq 1''$; 对强于 5 mJy 的约 10^6 个较强源的位置精度 $< 2.5''$; 对最暗 2.3 mJy 的源位置精度 $\approx 7''$ 。其科学目标为对完整和可靠的源, 特别是对近距源进行多波段的研究。

(2) FIRST(Faint Images of the Radio Sky at Twenty-cm)。用 VLA 的 B 结构对北和南银极 $10\,000\text{ deg}^2$ 的天区进行巡天。1997 年用 1993 年 3 月和 1994 年的观测发表了包括在 $1\,550\text{ deg}^2$ 天区中的 138 665 个射电源的表。源的面密度约为 75 deg^{-2} , 位置精度好于 $1''$, 对于亮源(流量密度大于 5 mJy), 其位置精度好于 $0.5''$ 。星表 03Apr11 版本(包括 1993—2002 年的观测)覆盖了 9030 deg^2 , 包括 811 000 个源。最终该星表将约包括 10^6 个源, 源的面密度为 90 deg^{-2} , 灵敏度约 1 mJy , 角分辨率 $5''$, 其中 35% 可分解出结构。FIRST 星表中 15% 的源在 POSS I 底片上有光学对应体 ($E \approx 20.0$), 50% 在 SDSS($m_v \approx 24\text{ mag}$) 中可以检测到。科学目标为研究: 类星体和活动星系核; 星系演化; 大尺度结构和暗物质(这是现代天体物理重要内容之一, 以前用 COBE 探测); 星系天文学(巡天观测将开启恒星射电天文的新纪元)。

除此以外还有: WENSS(Westerbork Northern Sky Survey)是对 $\delta < +30^\circ$ 的 3.14 球面度的天区在 327 MHz 的强度(检测极限为 15 mJy)和线性偏振巡天; SUMSS(Sydney University/Molonglo Sky Survey)是用 Molonglo Observatory Synthesis Telescope 对 $\delta < -30^\circ$ 的天区在 408 MHz 的巡天; VLSS(VLA Low-frequency Sky Survey)的脉冲星巡天, 以及用 Parkes 64 m 望远镜的 PMN(Parkes-MIT-NRAO)Survey 等。

5.2 红外和 X 波段星表

(1) IRAS 红外星表。1983 年 1 月 26 日 IRAS(Infrared Astronomical Satellite)发射升空后, 共作了 300 d 的巡天观测, 观测在 12 、 25 、 60 和 $100\ \mu\text{m}$ 波段进行。由这颗卫星巡天观测编制两部红外星表: (a) CIPRSS 星表(Catalogue of Positions of Infrared Stellar Sources)。1987 年发表 IRAS 点源星表(Point Source Catalogue, PSC)包括 $250\,000$ 颗点源, 其位置精度为 $10''$ 。通过各类恒星星表的证认, 已得到 $33\,678$ 颗星的红外源表, 精度为 $0.2''$ [114]。若用华盛顿综合总星表(WCC)作为数据库进行巡天观测, 则可提供包含 $120\,515$ 颗星的红外星表。作为试验, 对于 $60\ \mu\text{m}$ 波段, 已得到了亮于 5 mag 的 $15\,000$ 颗恒星源; (b) IRAS FSS(IRAS Faint Source Survey 星表)。包含了高银纬的 $173\,000$ 个天体的有关数据。有的天体的辐射流量比 PSC 中点源还小 2.5 倍 [115]。

(2) 2MASS 和 DENIS(Two Micron All Sky Survey 和 Deep Near-Infrared Survey of the Southern Sky)。它们的具体情况已在《天体测量学方法——历史、现状和未来》[23]一书中作了详细描述, 在此不再赘述。虽然 2MASS 中没有自行数据, 但是它仍然可以作为 ICRF 在红外波段的实现。

(3) WGACAT 星表。White 等人用了 4 a 时间处理 ROSAT 卫星对 $5\,000$ 点指向 $\pi\text{ deg}^2$ 天区的 PSPC(Position Sensitive Proportional Counter)资料, 给出了在 $0.1\sim 2.4\text{ keV}$ X 射线波段 $68\,905$ 个源的星表, 位置精度为 $13''$ [116]。

6 结 束 语

依巴谷卫星的发射成功, 开创了毫角秒天体测量的新时代。下一代天体测量卫星 Gaia 将使天体测量进入微角秒的时代。但是由于望远镜的口径与卫星的寿命的限制, 其观测极限星等只能达到 20 mag 左右, Gaia 将在 2011 年底或 2012 年初发射, 由观测结果编制的星表预计将可能在 2021 年发表。另一方面, 尽管地面大望远镜和其巡天计划(如 LSST, Pan-STARSS,

DAS) 的观测精度尚无法达到微角秒, 但是将能观测到暗至 25 mag 的天体。这些观测结果在大尺度的银河系、星系等研究上都具有重大意义。

在新天体测量学发展的 10 年中, 对天体和天象的观测和研究已覆盖了多个波段, 而且已不再局限于单独使用天体测量参数 (位置、自行、视差) 或天体物理参数 (有效温度、光度、元素丰度等), 而是将它们相互结合进行综合研究。特别是在 CCD 作为接收终端应用后, 位置和测光的观测已不再分开作为两个独立的观测计划进行。这在小天区的巡天中更为显著, 如 HDF(5 (')², $V=30$ mag) 和 SA57(天区 $15' \times 15'$, 星等暗至 $B \approx 22.5$ mag) 中的绝对自行、测光和分光观测都是同时进行的, 即使大规模的巡天计划的科学目标是着眼于天体物理的研究, 但也趋向于与天体测量相结合, 产生联合星表, 如 SDSS、ROCONS 等。事实上, 人们已经完全清楚, 只有将天体测量参数和天体物理参数结合起来才能真正了解银河系的结构与演化。

由于银河系中尘埃和气体的遮掩, 地面光学很难观测到银河系的核球, 也无法研究银河系中心区的动力学。在参考文献 [51] 的图 2(VW 投影图) 中也可以明显地看出。虽然地球大气对地面红外天文观测的影响比对可见光的影响大, 但是通过大气的近红外窗进行观测时这种消光影响非常小, 所以地面的近红外观测也能发挥一定的作用。

为了达到更高的精度, 在编制星表时通常需要综合利用现有的观测资料, 如 ARIHIP 就是 100 个地面星表与 HIP 的综合。自行星表 (如 Tycho-2、PM2000 等) 更需采用 1900 年前后发表的 AC 或天图星表作为第一历元, 将现代观测作为第二历元, 并利用其他中间历元的观测, 才能使自行精度达到 1.5 mas/a。

由于视差测定的观测周期长, 在暗天体的巡天观测中, 最缺少的是三角视差。尽管可以用测光和分光距离, 但还是需要三角视差数据对其进行校正的。LSPM 大自行星表的发表对低亮度的棕矮星和白矮星的研究具有重要意义, 但是缺少三角视差资料。在对最暗和大自行红矮星 LSR 1826+3014($V=19.36$ mag, 自行 $2.38''/a$) 的轨道运动研究中只能采用测光距离, 估计其离太阳距离为 (13.9 ± 3.5) pc。法国波尔多的视差计划测量了 15 颗近距棕矮星的视差, 并给出了测光距离与三角视差的关系。虽然射电的较差技术已把三角视差测定从 100 pc 扩展至 5 kpc, 但是它取决于脉泽源的数量, 因此用光学观测方法测定暗星的视差是极有意义的。

空间望远镜的寿命一般为 3~5 a, 因此长期的双星的地面观测与空间观测相结合将是最佳的观测方式。LAMOST 如配有适当分辨率的分光仪, 将能给出暗至 20 mag 天体的视向速度, 也可以开展分光双星和地外行星的研究。

致谢 紫金山天文台傅燕宁研究员提供了有关双星星表的资料, 作者在此表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] <http://seds.org/~spider/spider/misc/star-cats.html>
- [2] Warren Jr. W H. In: The astronomy and Astrophysics Encyclopedia. Cambridge: Cambridge University Press, 1992: 655
- [3] Argelander F W, Kruger A, Schonfeld E, Beob Bonn Obs., 1860, 3, 4, 5
- [4] Cannon A J, Pickering E C. Ann Harvard Obs., Cambridge, Miss.: The Observatory, 1924, 1

- [5] Nesterov V V, Kuzmin A V, Ashimbaeva N T *et al.* A&AS, 1995, 110: 367
- [6] Giclas H.L, Burnham. Jr. R, Thomas N G. Lowell Proper Motion Survey Southern Hemisphere Catalog, Lowell Obs. Bull. 1978, 8(4), 89
- [7] Kovalesky J, Seidelman K. Fundamentals of Astrometry, Cambridge: Cambridge University Press, 2004: 5
- [8] <http://cheli.gsfc.nasa.gov/dist.attitude/skymap.html>
- [9] Warren Jr W H, Miller A C, Myers J R *et al.* Baltic Astronomy 1997, 6: 81
- [10] <http://www.chara.gsu.edu/RECONS>
- [11] Ferguson H C. In: Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics. London: Institute of Physics Publishing, 2001: 1168
- [12] Ferguson H C, Blacker B, Dickinson M *et al.* AT, 1996, 112(4): 1335
- [13] <http://www.chara.gsu.edu/DoubleStars/Catalogues/Speckle>
- [14] <http://usno.navy.mil/wds/wds.html>
- [15] York D G, Adelman J, Anderson J E *et al.* AJ, 2000, 120: 1579
- [16] Skrutskie M F, Cutri R M, Stiening R *et al.* AJ, 2006, 131: 1163
- [17] <http://www/ipac.caltech.edu/2MASS>
- [18] White R L, Becker R H, Helfand D J *et al.* ApJ, 1997, 475: 479
- [19] <http://sundog.stsci.edu/first>
- [20] Steinmetz M, Zwitter T, Siebert A *et al.* AJ, 2006, 132: 1645
- [21] Magnier E A, Liu M, Monet D *et al.* In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C eds. Proceedings of the IAUS 248. Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 553
- [22] Ivezić Z, Monet D G, Bond N *et al.* In: Proceedings of the IAUS 248. Jin W J, Platais I, & Perryman M A C, eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 537
- [23] 李东明 金文敬 夏一飞. 天体测量学方法——历史、现状和未来, 北京: 科学出版社, 2006: 254
- [24] Rapaport M, Le Campion J-F, Soubiran C *et al.*, A&A, 2001, 376: 325
- [25] Urban S E, Corbin T E, Wycoff G L *et al.* AJ, 1998, 114: 1212
- [26] Klemola A R, Jones B F, Hanson R B. AJ, 1987, 94(2): 501
- [27] Girard T M, Platais I, Kozhurina-Platais V, van Altena W F *et al.* AJ, 1998, 115(2): 855
- [28] van Altena W F, Lee J T, Hoffleit D. The General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes 4th edn. New Haven, CT: Yale University Observatory, 1995: 1
- [29] <http://cdsweb.u-strasbg.fr>
- [30] Kharchenko N V. KFNT, 2001,17(5): 409
- [31] Hog E, Fabricius C, Makarov V V *et al.* A&A, 2001,355, L27-L30
- [32] Monet D G, Levine S E, Canzian B *et al.* AJ, 2003, 125: 984-993
- [33] Bucciarelli B, Lattanzi M G, McLean B *et al.* In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C eds. Proceedings of the IAUS 248. Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 316
- [34] Warren Jr W H. Bull. Inform. CDS, 1987, 32: 67
- [35] Warren Jr W H. Sky & Telescope, 1980, 60: 475
- [36] <http://msowww.anu.edu.au/SkyMapper>
- [37] Zacharis N. In: Jin W J, Platais I Perryman M A C eds. Proceedings of the IAUS 248. Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 310
- [38] Vallejo M, Mainos J L, Belizon F *et al.* In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C eds. Proceedings of the IAUS 248, Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 14
- [39] Dunham E W, Millis R L, Smith B *et al.* In: Seidelmann P K, Monet A K B eds. Astrometry in the age of the next generation of large Telescope. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2004: 71
- [40] <http://www.cfht.hawaii.edu/Science/CFHTLS>
- [41] <http://oacosf.na.astro.it/vst>
- [42] <http://www.vista.ac.uk>

- [43] Thuillot W. In: Karel A van der Huchi ed. *Astrometry by small ground-based telescopes*, Transaction IAU Vol. XXVIII Report on Astronomy 2006-2009. Cambridge: Cambridge University Press, 2008: in press
- [44] Ducourant C, Le Campion J F, Rapport M *et al.* *A&A*, 2006, 448: 1235
- [45] Gould A, Kollmeier J A. *ApJS*, 2004, 152: 103
- [46] Munn J A, Monet D G, Levine S E *et al.* *AJ*, 2004, 127: 3034
- [47] Luyten W J. *LHS Catalog (2nd ed)*. Minnesota: Minneapolis Univ. Minnesota press, 1979: 1
- [48] Luyten W J. *New Luyten Catalog of Stars with Proper Motions Large than Two Tenths of an Arcsecond*. Minnesota: Minneapolis Univ. Minnesota Press, 1979: 1
- [49] Giclas H L, Burnham R Jr, Thomas N G. *Lowell Proper Motion Survey Northern Hemisphere*. Flagstaff: Lowell Obs., 1971: 1-175
- [50] Lepine S Shara M M. *AJ*, 2005, 129: 1483
- [51] Lepine S, Shara M M, Rich M-R *et al.* In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C eds., *Proceedings of the IAUS 248* Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 74
- [52] Dawson P C. *ApJ*, 1985, 311: 984
- [53] Dubasavage J P, Henry T J, Hambly N C *et al.* *BAAS*, 2004, 36: 1430
- [54] Pokorny R S, Jones H R A, Hambly N C *et al.* *A&A*, 2003, 397: 575
- [55] Goldman H, Delfosse X, Forveille T *et al.* *A&A*, 1999, 351: L5-L9
- [56] Ruiz M T, Wischnjewsky M, Rojo P M *et al.* *ApJS*, 2001,133: 119
- [57] Ruiz M T, Leggett S K, Allard F. *ApJ*, 1997, 491: 107-L110
- [58] Wroblewski H, Costa E. *A&A*, 2001, 367: 725
- [59] Teegarden B J, Pravdo S H, Hicks M *et al.* *ApJ*, 2003, 589: 51-53
- [60] Faherty J, Cruz K, Burgasser A *et al.* In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C eds. *Proceedings of the IAU 248*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. 102
- [61] Ibata R, Irwin M, Binayme O *et al.* 2000, *ApJ*, 532: L41-L45
- [62] van Leeuwen F, In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C eds. *Proceedings of the IAUS 248*, Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 82
- [63] Jao W C, Henry T J, Subasavage J P *et al.* In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C eds. *Proceedings of the IAUS 248*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 421
- [64] Vrba F J, Henden A A, Luginbuhl C B *et al.* *AJ* 2004, 127: 2948
- [65] Henry T J, Jao W C, Subasavage J P *et al.* *AJ*, 2006, 132: 2360
- [66] <http://www.chara/gsu.edu/~thenry/CTIOPI>
- [67] Ducourant C, Teixeira R, Hambly N C *et al.* *A&A*, 2007, 470: 387
- [68] Ducourant C, Teixeira R, Le Campion J F *et al.* In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C eds., *Proceedings of the IAUS 248* Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 98
- [69] Smart H L, Bucciarelli B, Lattanzi M G *et al.* In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C, eds. *Proceedings of the IAUS 248*, Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 429
- [70] Lindegren L, Dravins D. *A&A*, 2003, 401: 1185
- [71] Mermilliod L-C, Mermilliod M, Huauck B. *A&AS*, 1997, 124: 349
- [72] <http://obswww.unige.ch/gcpd/gcpd.html>
- [73] Mermilliod J C. *AAS*, 1987, 71: 413
- [74] Mermilliod J C, Mermilliod M. *Catalogue of Mean UBV Data on Stars*, New York: Springer-Verlag, 1994: 1
- [75] Eggen O J. *ApJS*, 1979, 39: 89
- [76] Weis E W. *AJ*, 1996, 112(5): 2300
- [77] Udalski A, Szymanski M K, Kubiak M *et al.* *Acta Astronomica*, 2004, 54: 313
- [78] Bucciarelli B, Garcia Yus J, Casalegno R *et al.* *A&A*, 2001, 368: 335
- [79] Landolt A U. *AJ*, 1992, 104(1): 340
- [80] Smith J A, Tucker D L, Kent S *et al.* *AJ*, 2002, 123: 2121

- [81] Ellas J H, Frogel J A, Matthews K *et al.* AJ, 1982, 87(7): 1029
- [82] Houk N, Swift C. Michigan Catalog of Two-dimensional Spectral Types for HD Stars Vol 5. Ann Arbor: Univ. Michigan Dept. Astron. 1999: 1
- [83] Kennedy P M. MK Classification Catalog Extension. Weston Creek: Mt.Stromlo & Siding Spring Obs., 1983: 1
- [84] Sheffield A A, Majewski S R, Cheung A M *et al.* In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C eds. Proceedings of the IAUS 248, Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 506
- [85] <http://www.astro.ucla.edu/mclean/BDSS>
- [86] <http://www.sdss.org>
- [87] Wright C O, Egan M P, Kraemer K E *et al.* AJ, 2003, 125: 359
- [88] Baranne A, Queloz D, Mayor M. A&AS, 1996, 119: 373
- [89] <http://obswww.unige.ch/Instruments/HARPS>
- [90] Tsujimoto T, Kobayashi N, Yasui C *et al.* In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C eds. Proceedings of the IAUS 248, Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 510
- [91] Nordström B, Mayor M, Andersen J *et al.* A&A, 2004, 418: 989
- [92] Famaey B, Jorissen A, Luri X *et al.* A&A, 2005, 430: 165
- [93] Nordström B. In: Engvold O ed. IAU Commission 30, IAU Transaction XXVIA(2002-2005), Cambridge: Cambridge University Press: 2005: E1
- [94] Duflot M, Figon P, Meyssonnier N. A&AS, 1995, 114: 269
- [95] Perryman M A C. In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C eds. Proceedings of the IAUS 248, Cambridge: Cambridge University Press, 2008. 8
- [96] <http://www.casleo.gov.ar>
- [97] Udry S, Mayor M, Maurice E *et al.* In: Hearnshaw J B, Scarfe C D eds. Proceedings of the IAU Colloquium 170. Cambridge: Cambridge University Press, 1999 383
- [98] Stefanik R P, Latham D W, Torres G T. In: Hearnshaw J B, Scarfe C D eds. Proceedings of the IAU Colloquium 170. Cambridge: Cambridge University Press, 1999: 354
- [99] Tsvetkov A S, Popov A V, Smirnov A A. Astronomy Letter, 2008, 34(1): 17
- [100] Gliese W, Jahreiss H. A&AS, 1979, 38: 423
- [101] Jahreiss H. Catalog of Nearby Stars, Third Edition(CNS3), Heidelberg, Germany: Astronomischer Rechen-Institute, 1997: 1
- [102] Henry T J, Subasavage J P, Brown M A *et al.* AJ, 2004, 128: 2460
- [103] Hoffleit D, Warren Jr W H. Astron. Data Cent. Bull. Vol1, No.4, 1(4): 285-295 (5th revised edition)
- [104] Mason B D, Hartkopf W I, Wycoff G L *et al.* AJ, 2007, 134: 1671
- [105] Hartkopf W I. In: Engvold O ed. IAU Commission 26 Triennial, IAU Transactions XXVIA(2002-2005), Cambridge: Cambridge University Press: 2005: 193
- [106] <http://sb9.astro.ulb.ac.be>
- [107] <http://www.ctio.noao.edu/~atokovin/stars/intro.html>
- [108] Livio M, Fall S M, Madau P eds. The Hubble Deep Field. Cambridge: Cambridge University Press, 1998: 1
- [109] Veron-Cetty M P, Veron P. A&A, 2006, 455: 773
- [110] Andri A H, Assafin M, Barache C *et al.* In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C eds. Proceedings of the IAUS 248, Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 260
- [111] Ma C. In: Jin W J, Platais I, Perryman M A C eds. Proceedings of the IAUS 248, Cambridge: Cambridge University Press, 2008: 337
- [112] Condon J J. In: McLean B J, Golombek O A, Hayes J J E *et al.* eds. Proceedings of IAU Symposium 179, New Horizons from Multi-Wavelength Sky Survey. Nearthlants: Kluwer Academic Publishers, 1998: 19-25
- [113] Condon J J, Cotton W D, Greisen E W *et al.* AJ, 1998, 115: 1693
- [114] Hindsley R B, Harrington R S. AJ, 1994, 107(1): 280

[115] Beichman C, Boulanger F, Moshir M. AJ, 1992, 386: 248

[116] White N E, Giommi P, Angelini L. AAS, 1994, 185: 4111

Current Progress on Astrometric Catalogs and Sky Surveys

JIN Wenjing

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

Abstract: The history and significance of the sky survey and compiling catalogs are briefly described. The current progress on compiling astrometric catalogues and sky survey such as URAT, Pan-STARSS, LSST in stellar position; LSPM, PM2000, BDKP in proper motions; USNO program, CTOPI, program of the L and T stars in parallax are introduced. Meantime, the astrophysical catalogues including GCPD, UBV, GSP in photometry; MSS, BDSS, SDSS in spectrometry; GCRV, CORALIE, RAVE in radial velocity are briefly introduced too. Especially the catalogues of Durchmusterung, Lowell and Henry Draper published at the beginning of 20th century are indicated. The star numbers of these catalogues are still used now. Recently the combined catalogues such as SKYMAP, RECONS, HDF and catalogue for binary, to which one should pay more attention, are described. In addition, the catalogues in other wavebands such as NVSS, FIRST in radio, IRAS PSC and FSS in infrared and WGCAT in X band are described. Finally, some suggestions on the sky survey and compiling catalogues in the future are pointed out as follows.

The success of the Hipparcos mission initiated the space astrometry at the millisecond level. The follow-up next-generation astrometric satellite, Gaia will open an era of micro-arcsecond astrometry. Due to the limit of the telescope aperture and satellite's lifetime Gaia catalogue including 1 billion celestial objects down to 20 mag will be published in 2021. Although the accuracy at the tens of micro-arcsecond will not attain from ground-based observations, these reach down to a depth of $V=25$ mag. The observational results are significant to study large-scale properties of our Galaxy and other galaxies with statistical analysis.

During development of new astrometry for 10 years the celestial objects and phenomena are being observed at multi-wavelengths. Therefore a combination of astrometric parameters and astrophysical parameters are highly desirable to studies of the Galaxy. Especially the positional and photometric measurements can not be carried out separately after CCD as a detector is used. For example, the determinations of the absolute proper motion, photometric and spectral measurements for HDF and SA57 were performed on a relatively small part of the sky. Even though the original scientific propose of the large projects, such as SDSS, RICONs etc. is to study on astrophysics, the combined catalogue including astrometric and astrophysical parameters will

be produced, It is an only way to fully understand the Galactic structure and evolution by using both parameters.

Because of the obscurity induced by interstellar dust and gas the bulge in the central region of the Galaxy is difficult to be accessible at optical wavelength on ground, i.e. the extinction is more serious in optical band than that in others as shown in Figure 2 (VW projection) of reference [15]. Although the Earth's atmosphere is more opaque in infrared than that in visual optical the Earth's atmosphere is relatively transparent at the 'windows' of near-infrared wavelengths for the J, H, and K bands. Therefore the near infrared observations on ground are as important as the space-based observations.

In order to attain the high accuracy in proper motions the catalogues are compiled by using current total observational data. For example, ARIHIP was compiled by using 100 catalogues on ground and Hipparcos. Catalogues in proper motion should be compiled by using AC or Carte du Ciel as observational data at the first epoch and current observations as that at the second epoch as well as the others at the intermediate epoch. The accuracy can attain 1.5 mas/a, such as proper motions in Tycho-2、PM2000 and so on.

There is a limit to the number of trigonometric parallax measurements, especially for the distant and faint stars because two parallactic periods about 1.5 years are acquired, at minimum, for a unique determination of the trigonometric parallax. Although the photometric and spectroscopic distances can be used it should be calibrated by trigonometric parallax. The publication of LSPM catalog is actually very important for brown and white dwarf stars but no trigonometric parallax have been provided. The photometric distance of 13.9 ± 3.5 pc is only used to study the orbit of LSR1826+3014, the faintest and high proper motion red dwarf star ($V=19.36$ mag, proper motion $2.38''/a$). The parallaxes for 15 nearby brown dwarf stars were determined in Bordeaux parallax program in which the relation between photometric distance and trigonometric parallax is also given. Although the range of determination of distance has expanded from 100 pc to 5 kpc by using radio differential technique the perspective of determining distance with this method is on the base of the number of masters in the Galaxy. Therefore, determinations of trigonometric parallaxes for faint stars by using optical observations are more significant.

In general, the lifetime of space telescope is about 3~5 years. Therefore the reliability of determining binary orbits, especially for those binaries with a long period, will increase by incorporating the ground- observational data into the space-based observational data. After the spectrophotometer with high resolution is installed on LAMOST the radial velocities of celestial bodies down to 20 mag will be given. The spectroscopic binary and extra-solar planets will be also studied.

Key words: Astrometry; catalogues; sky survey