

文章编号: 1000-8349(2008)04-0349-11

# 施密特巡天星表的现状和展望

齐朝祥<sup>1,2</sup>, 于涌<sup>1</sup>, 唐正宏<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 上海天文台, 上海 200030; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 扼要介绍了施密特巡天底片及基于此编制而成的施密特巡天星表的发展历程, 并详细介绍了 GSC2.3 和 USNO-B1.0 的情况。分析研究了这类星表存在的问题和原因所在, 并提出了一个新的计划: 利用现有施密特底片资料并增加新的第 3 期观测, 编制一个具有绝对自行、多色测光、系统均匀的高密度全天星表以满足各方面的需要。

**关键词:** 星表; 绝对自行; 施密特底片; 交叉认证

**中图分类号:** P123 **文献标识码:** A

## 1 引 言

从古到今, 编制星数更多、天区覆盖更全、位置和自行精度更高的星表一直是历代天体测量学家的首要追求目标, 也是天体测量学的重要组成部分和主要任务之一。编制星表的主要目的: (1) 为方便且准确地描述天体在空间的位置和运动, 提供密度大、覆盖全、精度高、系统均匀的天球参考架; (2) 为大型巡天计划望远镜的指向引导和目标识别提供支持; (3) 为银河系结构、运动和演化的研究提供更可靠的基本数据。但对不同的目的, 其所需要使用的星表也有较大的差异。作为天球参考架使用的星表多为基本星表<sup>[1]</sup>, 这类星表要求参数齐全, 并且对位置、视差、自行的精度和系统的均匀性要求最高; 为导星和目标认证使用的星表多为综合星表, 它需要天区覆盖广、星等暗、密度高的大样本星表, 但对精度要求不是很高, 参数也不要求非常齐全; 而能够满足银河系研究需要的星表最理想的是既有基本星表的精度水平, 又有综合星表的大样本。然而至今为止, 这样的星表还很难找到。目前精度最高的星表是 1997 年正式发表的 Hipparcos 星表<sup>[2]</sup>, 它包括了近 12 万颗恒星在 J1991.25 历元的高精度位置、视差、自行和测光数据, 并从 1998 年起作为光学波段的基本参考架取代沿用了十余年的基本星表 FK5。但对于银河系研究以及照相参考星表等工作而言, Hipparcos 星表有一难于弥补的缺陷, 即其中多为亮星 (依据银纬及光谱型的不同, 完备性程度在  $V=7.3\sim 9.0$  mag 之间, 极限至  $V=12.4$  mag), 天区密度非常低 (平均 3 颗 / 平方度), 这难以满足那些要求星表具有

收稿日期: 2008-03-24; 修回日期: 2008-04-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (0741251001, 0471221001); LAMOST 工程课题 (0671921001); 上海市科委资助 (06DZ22101)

大样本资料的工作的需求。而 Gaia<sup>[3]</sup> 卫星按照计划应在 2011 年发射, 随着观测的进行, 其星表数据会不断地发布, 但其全部的星表数据的发布预计要到 2020 年才可完成, 则在此之前的十几年内只能利用地面的资料尽可能满足这方面的需求。

施密特望远镜具有视场大和像差小的特点, 其观测效率很高。在过去的 50 年里, 利用坐落在南北半球的大施密特望远镜, 天文学家已经完成了对星空的多次全覆盖巡天观测计划, 共得到约 9500 多张不同波段、多期历元的暗极限星等的照相底片, 为大型星表的编制积累了具有宝贵科研价值的历史资料。为了对底片记录信息进行永久保存同时便于计算机的各种操作<sup>[4]</sup>, 目前这些照相底片都已完成了数字化处理, 并构建成了数字巡天数据库<sup>[5,6]</sup>, 供全天文界使用。针对 Hipparcos 星表的不足和一些工作对星表的实际需要, 天文学家基于这些数字化底片已编制了两部大样本施密特巡天星表: GSC (Guide Star Catalog) 和 USNO (US Naval Observatory) 星表。

目前国际上还有 3 个比较有名的星表: TYCHO-2<sup>[7]</sup>、UCAC2<sup>[8]</sup> 和 SDSS<sup>[9]</sup>, 它们常被用作参考星表和星表间相互比较的标准。其中 TYCHO-2 是目前精度较高的亮星参考星表, 它参考了 Hipparcos 星表, 给出了暗至  $V=11.5$  mag (完备到 90%) 的 250 多万颗天体的位置、自行和测光数据。它的位置和测光数据均来源于 Hipparcos 卫星的观测, 位置平均观测历元为 J1991.5, 位置精度为 60 mas 左右, 其自行数据来自地面 140 多部天测星表的观测结果, 自行精度大约为 2.5 mas/a。UCAC2 是目前精度较高的暗参考星表, 它参考了 TYCHO-2 星表, 包括 4 830 多万颗天体的位置、自行和测光数据, 位置精度为 15~70 mas, 自行精度为 1~7 mas/a。但其天区覆盖不全, 只有赤纬 +40 度以南的数据 (部分天区可至赤纬 +52 度), 且只完备到  $V=16$  mag。SDSS 根据不同的赤纬, 它分别参考了 UCAC2 和 TYCHO-2, 其天区覆盖很小, 只包括了北银极区近 10 000 平方度, 暗至  $R=22.2$  mag 的天体位置、自行<sup>[10]</sup>、测光和光谱数据, 宣称位置精度为 45~75 mas, 自行精度为 3~3.5 mas/a。

对于有较高密度的要求和天区覆盖全但精度要求不高的常规工程应用和科学研究领域, 目前 GSC 这类的巡天星表即可满足它们的要求。但至今, 还没有一个位置精度高 (好于 0.1'' 水平)、有良好的自行精度 (1~3 mas/a)、完备到 20 mag、数量多、星等暗、天区覆盖全的星表, 能够满足目前一些工作的需要, 例如作为暗星照相参考星表、为银河系结构和运动学研究提供足够的样本、为特殊的望远镜 (如 LAMOST) 提供引导星和目标星, 等等。

目前最可能实现的解决方案就是对现有的施密特巡天观测进行更细致、更严格的处理, 并补充更近期的第 3 期历元的观测。这个计划如果在不太长的时间内完成, 可以比 Gaia 的最终星表早 10 年提供应用, 并且其中的许多数据处理方法可能对 Gaia 有参考和比较价值。本文第 2 章将概述施密特巡天星表的发展历程情况; 第 3 章将介绍现有施密特巡天星表存在的问题和原因; 第 4 章提出编制新巡天星表的设想并对可行性作简要分析; 最后一章对本文内容进行总结。

## 2 施密特巡天星表的发展历程

基于数字化施密特底片编制而成的大样本全天星表, 目前仅有 GSC 和 USNO 这两部星表。但是, 针对不同的工作需求以及伴随着相关研究工作的进展, 这两部星表在其各自发展过

程中产生了多个版本。

GSC 星表由美国空间望远镜研究所与国际上其他一些知名天体测量团队合作编制而成。他们将帕洛玛 Oschin 1.2-m、英澳 UK 1.2-m 和欧南台 ESO 1.0-m 施密特望远镜拍摄的历史底片通过两架 GAMMA (Guide Star Automated Measuring Machines) 底片激光扫描仪在美国空间望远镜研究所进行了数字化, 生成了 GSC-I 和 GSC-II 两个系列的星表。编制 GSC 星表的最初目的是为 Hubble 空间望远镜进行导星定向, 但随后在地面大望远镜 (GEMINI、VLT) 中也得到了较多应用。

GSC-I 主要是为 HST 的导星定向服务, 期间生成了多个版本<sup>[11]</sup>。1985—1988 年, 空间望远镜研究所利用其中 1 514 张数字化的底片数据 (618 张北天的底片、802 张南天长曝光和 94 张短曝光底片), 以 AGK3、SAOC 和 CPC 为参考星表 (FK4 系统), 用三次方多项式底片模型归算底片, 编制了 GSC1.0 并于 1989 年 6 月发表。它包括 1 900 多万颗 7~16 mag 的星, 位置精度为  $0''.3$ , 底片边缘的系统差为  $1''\sim 2''$ , 但这个星表只有单色测光数据且没有自行数据。随后空间望远镜研究所与依巴谷和第谷工作组合作, 把依巴谷输入星表与 GSC1.0 合并, 同时加入南天底片中亮星 ( $m < 3$  mag) 的结果, 以补充其亮星位置, 于 1992 年 8 月发表了 GSC1.1。随后空间望远镜研究所与海德堡天文研究所合作讨论 GSC1.1 的各种系统差和消除的方法, 如底片分区重叠法、虚格栅法、并置法, 与滤波法相似的有无限重叠圆和非最佳方波滤波法等, 并于 2001 年发表了 GSC1.2, 这部星表改进 GSC1.1 中存在的底片畸变和星等差, 位置精度在  $0''.3\sim 0''.4$ , 但是由于各种原因这个星表未被 HST 所使用。

为了充分发挥数字化底片数据的科学价值, 2000 年空间望远镜研究所与意大利都灵天文台合作, 发起了 GSC-II 的计划<sup>[12]</sup>。GSC-II 主要目的是将全天不同光学波段、不同历元的施密特巡天照相底片进行高分辨率的数字化 ( $1''/\text{pixel}$ ), 利用所有的底片编制一本达到底片极限包括天体位置、自行、多色测光和目标类型等信息的星表。GSC-II 在其编制过程中也产生了多个版本, 如 GSC2.0、GSC2.1、GSC2.2、GSC2.3<sup>[13]</sup> 等。其中 GSC2.0、GSC2.1、GSC2.2 等版本的星表, 它们的天区覆盖均不完备, 且只有两个波段的测光数据, 没有自行数据。2005 年 10 月发表的 GSC2.3 是目前最新的版本, 它包含的数据信息最为全面, 已经完全取代了以前几个版本星表的内容。GSC2.3 给出了达到底片极限星等 ( $R=20.8$  mag) 全天近 9.5 亿颗天体的位置、自行、分类和多波段测光信息。目前这部星表正在哈勃空间望远镜 HST 上作为目标证认所使用, 同时即将发射的美国空间望远镜 JWST 也将使用它作为其导星星表。虽然此星表从工程应用方面发挥了较大作用, 但由于在位置归算和自行系统处理方面仍有较多不足, 以至基于此星表人们很难做出具有较大科学价值的研究成果。

USNO 星表由美国海军天文台负责编制, 他们利用 PMM (Precision Measuring Machine) 底片扫描仪对 GSC2.3 所使用的施密特底片进行了重新数字化。USNO 包括 USNO-A 和 USNO-B 两个系列<sup>[14]</sup>。A 系列是一个包含单个历元位置、两个波段测光数据的星表, 而 B 系列为一个包含位置和自行以及 3 个波段测光数据的星表。前者包括 UJ1.0、USNO-A1.0 和 USNO-A2.0<sup>[14]</sup>, 后者目前只有 USNO-B1.0 这个星表。发表于 2002 年 10 月的 USNO-B1.0 星表是目前最新版本的星表, 它已取代了 USNO-A2.0 等以前版本的所有星表。

USNO-B1.0 星表, 采用了北天 NPM1 和南天 SPM2 的底片在 PMM 上量度坐标编制的 YS4.0 作为其参考星表 (极限星等为  $R=18$  mag)。它最终给出了暗至  $V=21$  mag 的 10 亿多颗

天体的位置、自行、分类和多波段测光信息<sup>[15]</sup>。但由于此星表在位置、自行归算以及测光资料方面采用了较特殊的处理方式,使其存在较多的问题,以至于它在工程应用和科学研究的很多方面都没有得到较好应用。

### 3 现有施密特巡天星表存在的问题及其原因所在

通过对 GSC2.3 星表的编制方法及其星表数据的分析,发现 GSC2.3 存在明显的位置和自行系统差<sup>[16]</sup>。位置参数的系统差主要表现为两方面,一是与目标在底片上位置有关的区域性系统差(见图 1),二是与目标星等有关的系统差(即星等差)(见图 2)。而自行方面,在北天和现有一些精度较高的自行星表符合较好,但在南天则存在明显的系统差。

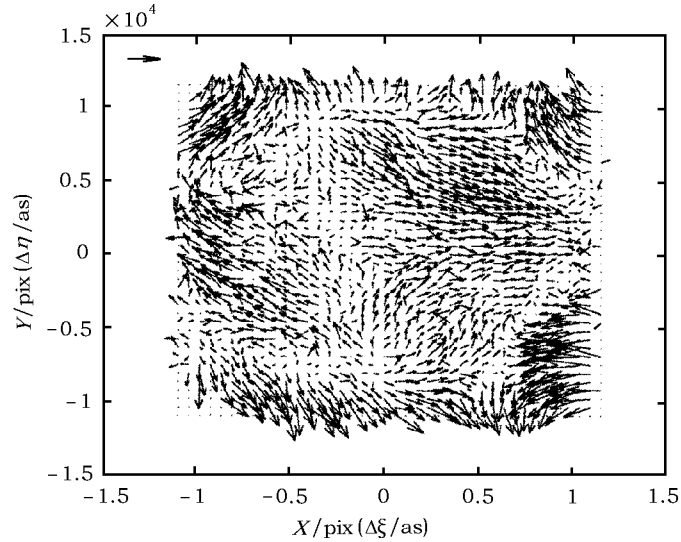


图 1 GSC2.3 星表位置存在与底片上位置有关的系统差

每个矢量表示  $10' \times 10'$  的方格内 GSC2.3 和精度较高的星表 UCAC2 的位置平均残差,每个格子内平均有 50 颗共同星,左上角给出了长度为  $0.3''$  的标尺

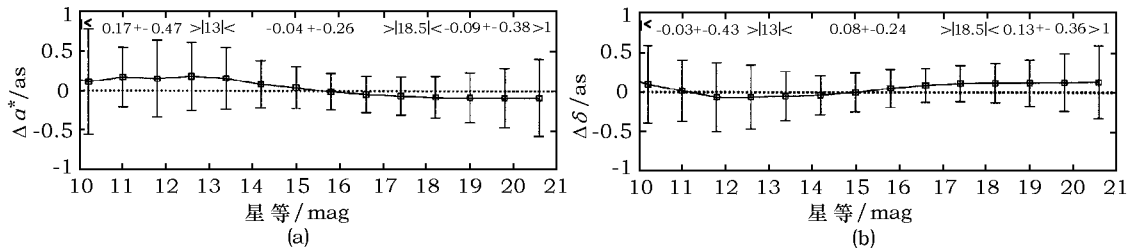


图 2 GSC2.3 星表位置存在与星等有关的系统差

GSC2.3 与星等跨度大、精度较高的 SDSS-DR5 的位置残差及其随机误差随星等的分布图,系统差的幅度在  $0.2''$  的水平,其中图 (a)、(b) 分别表示赤经、赤纬方向的情况

施密特望远镜的焦面是球面, 在观测时需要将照相底片 (1mm 厚的薄玻璃板) 压弯以贴近其理想的焦面, 在结束观测时需要将其展平以便度量和存放。根据薄板理论, 需要用七阶多项式的底片模型, 才可以较好地表征在底片被压弯再展平的过程中目标量度坐标受到的影响<sup>[18]</sup>。而在 GSC2.3 的编制过程中只使用了一个二阶多项式底片模型, 虽然在二阶多项式处理后做了“MASK”位置系统差改正<sup>[19]</sup>, 但仍未能较好地消除底片压弯再展平所引起的区域系统差, 残留了较明显的系统畸变。其中“MASK”位置系统差改正原理是: 将底片分成许多小块, 统计多张同类型的底片, 由每小块中的参考星求出其中量度坐标的改正量  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ , 然后将此共同的平均系统差在每张底片中予以扣除。但此方法对每张底片局部区域所独有的系统差的消除是无能为力的。

星等差的物理机制问题, 目前天文学界并没有给出一个合理且统一的解释, 根据仅有的一些相关研究工作<sup>[16,20,21]</sup>, 引起星等差的可能因素主要有: 望远镜及其光学系统、照相底片类型和性能、望远镜跟踪误差等。若要较好地消除星等差, 比较理想的方法是, 在归算时使用一本星等跨度大、不存在星等差的参考星表, 根据星等差存在的形式和量级, 选择合适的底片模型以消除其影响。GSC2.3 的参考星表为 TYCHO-2, 其极限星等为  $V=11.5$  mag, 这和 GSC 底片的极限星等 ( $R=20.8$  mag) 之间有近 9 mag 的星等空隙, 即使在底片模型中加入星等项, 也很难消除星等差对星场中暗星的影响。

GSC2.3 的自行数据由不同历元的观测导出, 理论上对两期观测中所具有的共同系统差可在自行的求解过程中得到抵消, 但如果处理不当则会将不同历元中观测结果的系统差引入到自行中甚至得到放大。GSC2.3 在南天存在着自行系统差问题, 目前其真正的原因还不得而知, 但可能的原因是其对两期底片位置归算上存在某种欠缺。

USNO-B1.0 在底片的处理方法上和 GSC2.3 相近, 它使用了三阶多项式模型加“MASK”位置系统差改正的方案, 但其使用了一个没有自行数据的 YS4.0 作为其参考星表, 这在底片处理上是不妥当的。首先, 由于底片观测历元和参考星表位置历元间存在较大的时间跨度, 如忽略此时段内参考星的自行, 参考星的平均速度会引起场星归算位置与其真实位置间的系统差, 同时自行的多向性又会加大场星归算位置的随机误差, 降低了归算精度; 其次, 利用没有自行数据的参考星表求解的场星自行数据, 它只是基于参考星的相对运动, 其自行数据不能体现历元跨度内太阳的运动, 而这与以往自行的概念和物理意义是有区别的, 这也造成了使用其自行数据的不便。同时需要指出 USNO-B1.0 对测光数据只是做了简单的处理, 并没有像 GSC2.3 那样严谨和全面。USNO-B1.0 在测光方面存在较大的不足: (1) 它未区分点源和面源的而是一概处理; (2) 只有 44% 天区使用了暗测光参考星表数据, 其余天区采用了亮测光参考星表利用外推法求解星场内暗星的测光数据; (3) 它给出的星等并没有归算到标准测光系统。

可见, 对于那些既要求精度高, 又要求数量多、星等暗、天区覆盖全的一些工作, 现有的施密特巡天星表是很难胜任的。因此如前所述, 天文学家们迫切地需要一个高精度的新暗星星表。

## 4 编制新巡天星表的设想和可行性分析

本文提出一个重新处理施密特巡天观测的历史底片, 使之能满足对位置和自行精度要求更高的用户的需要。其主要思路为: 编制一个高精度的“全天绝对自行加密星表”。利用现有

经数字化后的两期施密特照相巡天资料,并补充最新的第3期 CCD 观测资料,相对于河外天体框架直接测定每个恒星的绝对自行。同时以较大的注意力处理观测数据的系统误差以及准确的目标证认。期望获得一个完备到 20mag、位置平均精度好于 0.1''、绝对自行平均精度好于 3mas/a、具有多色测光数据的全天星表。具体拟采取的方案和可行性分析如下。

#### 4.1 绝对参考星表系统的建立

基于空间观测的 TYCHO-2 星表,在其平均观测历元的位置是绝对的(直接来自卫星观测,不依赖于地基的参考星表),且有较高的位置、自行精度和星数密度,可以认为是一本当今最好的绝对位置星表。利用 TYCHO-2 星表,结合长短曝光观测的手段,可以得到第3期 CCD 观测中河外天体的位置,由于河外天体的自行可以忽略,这可以为各期照相底片的归算提供统一的、绝对的位置参考系统。

#### 4.2 绝对自行系统的建立

借助于上面建立的“绝对参考星表”,用高阶的底片模型计算底片参数的初值,给出全部星像的理想坐标。这样得到的坐标会存在各种原因引起的系统误差,但在底片上一个小区内用其计算出的星像的理想坐标,在各星之间的所含系统误差的较差量可以忽略。根据这样的原理,用该小区内的河外天体组成一个参考星座来度量恒星的自行位移将不受其他恒星自行误差的影响,也不受底片系统误差的影响,因此是绝对的位移。由于河外天体的自行非常缓慢,在几十年跨度内,地面的照相观测尚不足以觉察其明显自行位移,所以可以认为该局部的河外参考星座是个惯性框架。两期底片上的同天区的共同参考星座之间,还可能存在着平移、旋转和横向尺度伸缩三类差异。经过整体坐标变换,可使得两者成为全等的几何图形,并以此河外星座为参考给出其所包围的恒星的总自行位移。由于总自行位移是小量,将其投影到赤经和赤纬方向的自行分量容易得到。上述整体变换过程的数学推导如下。

设目标星  $S$  周围有若干河外星系  $G_i$ ,通过高阶模型的底片参数初值,计算目标星在两底片上的理想坐标矢量初值为

$$\begin{aligned} \mathbf{R}(t_1) &= [\Pi_1] \begin{pmatrix} \xi(t_1) \\ \eta(t_1) \\ 1 \end{pmatrix} ; \\ \mathbf{R}(t_2) &= [\Pi_2] \begin{pmatrix} \xi(t_2) \\ \eta(t_2) \\ 1 \end{pmatrix} . \end{aligned} \quad (1)$$

参考源在两底片上的理想坐标矢量初值为

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_i(t_1) &= [\Pi_1] \begin{pmatrix} \xi_i(t_1) \\ \eta_i(t_1) \\ 1 \end{pmatrix} ; \\ \mathbf{R}_i(t_2) &= [\Pi_2] \begin{pmatrix} \xi_i(t_2) \\ \eta_i(t_2) \\ 1 \end{pmatrix} . \end{aligned} \quad (2)$$

这里  $[\Pi_1]$  和  $[\Pi_2]$  分别是两期底片上的理想坐标系。由于参考源本身没有明显的自行位移, 它们在两底片上理想坐标矢量的系统差所引起的局部河外参考星座的差异可认为只是理想坐标系的平移、旋转和尺度变化所引起。这可以表示成

$$\Delta \mathbf{R}_i = \mathbf{R}_i(t_2) - \mathbf{R}_i(t_1) = \Delta \mathbf{R}_0 + \langle \mathbf{R}_i(t_1) \times \mathbf{R}_0 \rangle \cdot \Delta \sigma |\mathbf{R}_i(t_1) - \mathbf{R}_0| + \mathbf{R}_i(t_1)k \quad (3)$$

其中,

$$\Delta \mathbf{R}_0(t_2 - t_1) = [\Pi_1] \begin{pmatrix} \Delta \xi_0(t_2 - t_1) \\ \Delta \eta_0(t_2 - t_1) \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Delta \xi_0 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\xi_i(t_2) - \xi_i(t_1)), \\ \Delta \eta_0 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\eta_i(t_2) - \eta_i(t_1)). \end{aligned} \quad (5)$$

$\Delta \mathbf{R}_0$  是参考星座的整体平移矢量,  $\mathbf{R}_0$  是参考星座中心在  $[\Pi_1]$  中的量度坐标矢量,  $\Delta \sigma$  是参考星座的量度坐标系表现出的绕中心的旋转角,  $k$  是第 2 期底片对第 1 期底片的坐标尺度差。式 (3) 包含共 4 个未知分量, 若取几十个参考源, 可以得到比较可靠的局部参考架的整体变换参数  $\Delta \mathbf{R}_0$ 、 $\Delta \sigma$ 、 $k$ 。将其代入到目标星的方程, 得到由于量度坐标系变化引起的第二历元观测目标的理想坐标变化

$$\Delta \mathbf{R} = \Delta \mathbf{R}_0 + \langle \mathbf{R}(t_1) \times \mathbf{R}_0 \rangle \cdot \Delta \sigma |\mathbf{R}(t_1) - \mathbf{R}_0| + \mathbf{R}(t_1)k, \quad (6)$$

最后得到目标星的总自行量

$$\nu(t_2 - t_1) = |\mathbf{R}(t_2) + \Delta \mathbf{R} - \mathbf{R}(t_1)|. \quad (7)$$

这里的  $\nu$  是总自行速率, 将其投影到赤经和赤纬方向, 得到  $\mu_\alpha$ 、 $\mu_\delta$  分量。由于  $\nu$  是小量, 对其在赤道坐标系中投影的方向角的精度要求不高。

#### 4.3 不同期的底片上共同目标的证认

为给恒星确定自行, 首先要确定目标的类型, 是恒星还是河外天体 (星系、类星体)。然后, 要进一步对不同底片上的每个恒星和河外天体进行确认, 以保证不同时期底片上的目标是同一目标。由于目标密集, 两期底片的时间跨度长达数十年, 其间有些恒星位置变化较大, 有些变星的星等可能也有较大的变化使得容易发生误证认<sup>[14]</sup>。同时对所有的目标采取同样的标准也容易发生误判。拟采取两项措施提高证认准确度: (1) 拟采取多历元拟合方法提高证认的正确率。多历元各自求出的自行的量级和方向应大致符合, 否则就有可能存在误证认。这也是增加第 3 期观测的目的之一。(2) 采用排除法, 对不同的目标采用不同的证认标准。对所有的目标, 先设定最严格的证认限制条件 (包括位移量和星等差异的限制), 将自行小、经过多历元拟合后确定没有疑问的恒星先从目录上去除; 由于去掉大量的目标, 剩余的目标将明显变得稀疏, 对剩余目标的证认可以采用较宽容的限制条件。这样反复进行, 逐步放宽证认

条件, 将绝大多数目标辨认出来。剩下较少的目标, 可能是自行大的恒星, 可以通过多历元拟合加以确认。最后还可能剩下数量很少的目标, 它们可能是变星、太阳系天体或其他原因造成不能辨认, 需要人工工作最后判断。上述过程中, 很可能出现一颗星找到多个对应体和多颗星找到同一对应体的情况, 但可以采取综合位置差异、自行差异和星等差异的多维距离法加以判断以找到其真正的对应体。总之, 密集的共同星的正确认证是一个困难问题, 需要特别细致的处理, 不能用一个程序将所有的星像如同送进“流水线”一样处理。

#### 4.4 底片误差的处理

1) 星等差的规律。在最新的第 3 期观测中, 对同一天区按不同的曝光时间作多次曝光, 每张底片上测量的星等范围不超过 3 mag, 不同曝光时间的底片间, 星等跨度范围有所重叠。依此研究小星等跨度和大星等跨度的观测结果间的关系, 依此研究星等差的规律。

2) 系统畸变的表征。对底片资料的预研究结果表明, 通过底片高阶 (7 阶) 模型较好地拟合底片的系统畸变。图 3、图 4 是对同一张施密特底片分别利用 3 阶和 7 阶多项式拟合后参考星的残差分布图。对于二维的底片, 若对  $X$ 、 $Y$  方向分别拟合, 每个方向完备的 7 阶多项式有 36 项, 则为了得到较好的拟合精度, 最好有多于  $36 \times 36 = 1296$  个采样点, 即需要 1296 个以上的比较均匀分布的参考星。如果用新建立的“绝对参考星表”, 其平均每平方度约 17000 余颗河外天体, 这里所用的施密特底片视场近 30 平方度, 可用的参考星数量平均在 50 万颗左右, 可以得到较高精度的底片参数。所以采用 7 阶多项式拟合底片量度坐标系统没有任何技术上的困难, 只是工作量比较大而已。这样, 一切与星像在底片上位置有关的系统误差都可以得到很好的解决。

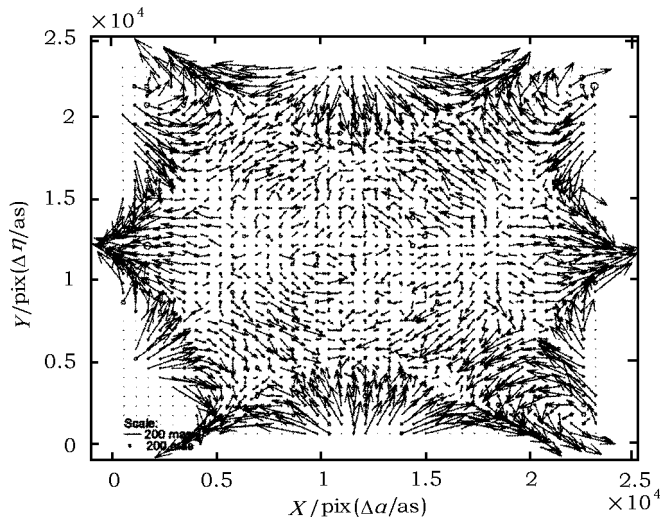


图 3 参考星的位置残差在底片上的分布图

对一张施密特底片利用 3 阶多项式底片模型拟合

3) 天区间系统差的平滑。施密特相邻天区的观测有部分重叠 (近  $1.5^\circ$ )。前文已经提到, 由于各种原因重叠区的星在不同底片上得到的结果会有较大差异, 影响位置和自行的均匀性。本计划拟采取区域底片间的整体平差方案<sup>[11]</sup>。每张底片连同周围 4 张底片作整



体平差解, 给出中间一张底片的模型参数, 解出目标星的天球坐标。对最后重叠区的星, 取各次星位作比较, 检测计算过程的正确性。证明一切正常后, 将同一星的各次观测的位置作平均得出最后的结果。

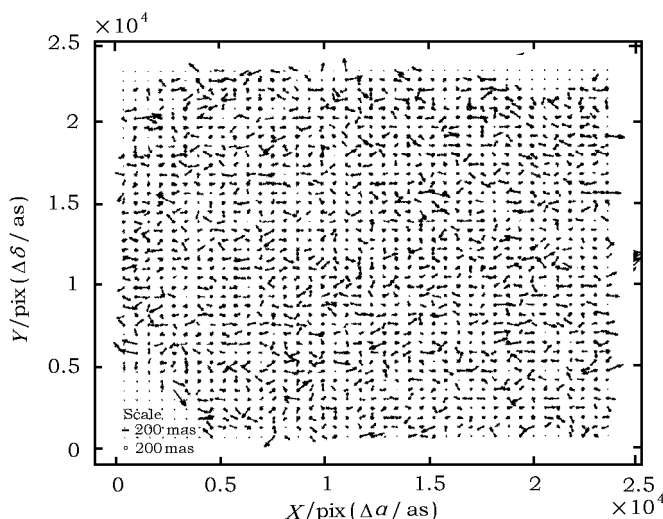


图 4 参考星的位置残差在底片上的分布图

对一张施密特底片利用 7 阶多项式底片模型拟合

4) 随机误差的削弱。同一天区用不同波段的滤光片作多次观测。加滤光片后的观测, 大气的分光效应对星座形状的影响将被消除, 所以不同波段的共同恒星位置间将不含有与色指数有关的系统差, 将几个波段得到的位置取平均, 可以削弱其随机误差水平。GSC 星表的位置只用 R 波段的观测给出, 如果用 4 个波段的观测确定星位, 其随机误差预期可削减 40% 左右。这样做在技术上没有问题, 只是工作量大大增加, 要对不同波段的底片间进行共同星的精确证认。

#### 4.5 第 3 期观测数据的建立

增加新近第 3 期观测, 不仅可以提高自行归算精度、结合长短曝光研究星等差的问题和规律, 同时 CCD 观测在测光和定位精度上都比底片更具有优势。即将编制的新星表中的位置和测光信息都将使用第 3 期的观测结果。对于如何获得观测数据, 现有的设想是: 北天区依靠国内自主观测, 南天区寻求国际合作, 争取在 2~3 年取得全天最新的第 3 期观测, 如南天区合作较困难, 则先给出北天区的星表。国内盱眙观测站的 1.2m 施密特型望远镜其视场为  $2^\circ \times 2^\circ$ , 短时间曝光 (20 s) 即可达到极限星等  $B=21.5 \text{ mag}^{[22]}$ , 利用此设备, 则半年即可完成北天区的全部观测, 而后即可开展星表的编制工作。南天区潜在的合作方主要是澳大利亚国家大学、欧洲南方天文台、英澳天文台和耶鲁南方天文台, 这几家单位均配有较大视场 CCD 探测器的望远镜, 如能取得对方对此项目的理解和支持, 则在良好的合作的基础上, 3~4 年内完成南天区的观测也是有保证的。

#### 4.6 精度估计

照相天体测量属于相对测量, 目标星的位置误差  $\sigma$  主要取决于三方面: (1) 目标星

像的量度误差(定心误差) $\sigma_m$ ; (2) 由参考星确定的量度坐标系和天球坐标系间的转换误差 $\sigma_t$ , (在选取的模型能充分表征底片特性的情况下, 转换误差 $\sigma_t$  主要与参考星的数目 $n_r$ 、星表位置误差 $\sigma_c$  及其在底片上的量度误差 $\sigma_m$  有关); (3) 目标星的观测次数 $N$ 。则目标星总的位置随机误差水平可用下式表示:

$$\Sigma \simeq \sqrt{\left( \frac{\sigma_m^2}{N} + \frac{\sigma_m^2 + \sigma_c^2}{n_r} \right)} \quad (8)$$

可见, 在参考星的精度和数目有一定保证的情况下, 目标星的最终精度主要取决于其观测次数 $N$  和量度误差水平 $\sigma_m$ 。

对于北半球的盱眙 1.2m 施密特望远镜, 它所装配 CCD 的比例尺为  $1.8''/\text{pixel}$  [19], 而南半球的几架望远镜它们所装配的 CCD 比例尺均小于  $1.8''/\text{pixel}$ 。对于 CCD 上的目标, 其位置中心的测量精度一般在百分之几个像素的水平, 则第 3 期的观测数据中, CCD 上目标的预期量度精度可达  $0.09'' \sim 0.18''$  (5%~10%) 的水平。利用 TYCHO-2 作为这些观测资料的参考星表, TYCHO-2 的平均位置精度为 60mas, 平均密度为 60 颗/平方度。由于所使用望远镜均有较大的视场, 则每个 CCD 上至少有几百甚至上千颗 TYCHO-2 参考星, 基于此求得的底片模型精度会有保证, 并且由参考星引入的误差相对于量度误差是小量, 可以忽略。通过对不同波段(至少 3 个波段) 观测结果的平均, 则最终基于第 3 期 CCD 观测所建立的“绝对参考星表”中河外天体的位置精度可达  $0.05'' \sim 0.10''$  的水平, 同时新的星表中的位置信息也来自此次观测数据。

对于前两期的观测资料, 其底片比例尺为  $(1.0'' \sim 1.7'')/\text{pixel}$  (不同批次底片间扫描的分辨率略有差异), 每张底片上可用的河外参考星数量平均在 50 万颗左右, 则参考星引入的误差可以忽略, 通过对多波段资料的平均, 其最终的位置精度也可达到  $0.10''$  的水平。由于多期资料间的历元跨度近 50 年, 则基于这些资料归算出的自行的精度将好于  $3 \text{ mas/a}$ 。

## 5 结 语

本文先分析并研究了现有基于施密特巡天数据编制而成的施密特巡天星表, 找出了其存在的问题, 分析了其可能的原因; 然后提出编制新巡天星表的计划, 并从多方面作了较详尽的可行性分析。此计划如能得到实施, 不仅可以最大程度发挥历史施密特底片数据的科学价值, 为国际上各家天文台的地面和空间望远镜的操作以及科学研究提供有力的支持; 同时可以提升我国天体测量学科的国际影响力和知名度, 提高在大天区、高精度、暗星等、海量观测数据处理方面的国际地位, 为将来在 Gaia 计划的合作和应用研究方面取得更高的起点。

**致谢** 感谢赵铭研究员和两位审稿人对文章结构、专业术语等方面的具体建议和指导。

**参考文献:**

- [1] 赵铭. 天体测量学导论, 北京: 科技出版社, 2006
- [2] Perryman M A C, Lindegren L, Kovalevsky J, et al. *A&A*, 1997, 323: 49
- [3] Lindegren L, Perryman M A C. *A&A*, 1996, 116: 579
- [4] 金文敬, 唐正宏, 王叔和, 等. *天文学进展*, 2007, 25: 1
- [5] McLean B J, Greene G R. *ASPCon. Ser.*, 2000, 216: 145
- [6] Monet D G, Levine S E, Canzian B, et al. *AJ*, 2003, 125: 984
- [7] Hog E, Fabricius C, Makarov V V, et al. *Astron. Astrophys.*, 2000, 355(2): 19
- [8] Zacharias N, Urban S E, Zacharias M I, et al. *AJ*, 2004, 127: 3034
- [9] Pier J R, Munn J A, Hindsley R B, et al. *AJ*, 2003, 125: 1559
- [10] Munn J A, Monet D G, Levine S E, et al. *AJ*, 2004, 127: 3034
- [11] <http://www-gsss.stsci.edu/Catalogs/GSC/GSC1/GSC1.htm>, 2008
- [12] Mclean B J, Green G R, Lattanzi M G, et al. *ASPC*, 2000, 216: 145
- [13] Bucciarelli B, Lattanzi M G, Mclean B, et al. *IAU symp.* 248, 2007
- [14] Monet D G, Levine S E, Canzian B, et al. *AJ*, 2003, 125: 984
- [15] <http://www.pmo.jsinfo.net/wenben/2006/xuyi.htm>, 2008
- [16] Tang Z H, Qi Z X, Yu Y, et al. *IAU symp.* 248, 2007: 334
- [17] Roser S, Bastian U, Kuzmin A. *A&A Suppl. Ser.*, 1994, 105: 301
- [18] Kuimov K V, Sorokin F D, Kuzmin A V, et al. *Astronomy Reports*, 2000, 44: 474
- [19] Taff L G, Lattanzi M G, Bucciarelli B. *ApJ*, 1990, 358(1): 359
- [20] 杨廷高. *陕西天文台台刊*, 1996, 19: 271
- [21] 毛亚庆. *天文学报*, 1990, 31(3): 291
- [22] Yu Y, Tang Z H, Li J L, et al. *AJ*, 2004, 128: 911

## Schmidt Sky Survey Catalog: Current Status and Perspectives

QI Zhao-Xiang<sup>1,2</sup>, YU Yong<sup>1</sup>, TANG Zheng-Hong<sup>1</sup>

(1. *Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China*; 2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

**Abstract:** Schmidt sky surveys, GSC and USNO Catalogues which are derived from the Schmidt sky surveys are reviewed. Systemic errors of these two catalogues both in positions and proper motions are found. The problems in these kinds of catalogues are analyzed. At the same time, a proposal for compiling a new Schmidt sky survey catalogue is also presented: Implementing a new all sky CCD survey to get the recent third epoch data. Combining the existing Schmidt sky survey data and the new data to get an all sky catalogue, this contains high precision positions, absolute proper motions, multi-band photometries, classifications and a uniform system. The positional accuracy and proper motion errors of the new catalog will be better than 0.1 arcsec and 3 mas/a accordingly.

**Key words:** catalog; absolute proper motion; Schmidt photographic plate; cross-identification