0254-6124/2011/31(3)-344–06 *Chin. J. Space Sci.* 空间科学学报

Lin Zhong, Peng Qingyu, Zhang Qingfeng. Astrometric experiment for the 1m telescope at weihai observatory. *Chin. J. Space Sci.*, 2011, **31**(3): 344-349

威海天文台 1 米望远镜天体测量试验*

林 众 彭青玉 张庆丰

(暨南大学计算机科学系 广州 510632)

(暨南大学中法天体测量、动力学与空间科学联合实验室 广州 510632)

(暨南大学光电信息与传感技术广东普通高校重点实验室 广州 510632)

摘 要 利用威海天文台 1 米望远镜观测了 2009 年 10 月 7 日晚的疏散星团 M39. 观测过程中使用了 I 滤光片, 并将 CCD 绕光轴旋转 90° 分别成像. 使用最新的 UCAC3 星表和 Platais 的自行星表归算表明, 该望远镜具有良好的天体测量性能, 最好的单次位置测量精度达到了 4∼5 milli-arcsec. 此外, 观测资料还发现 UCAC3 星表具有明显的自行不准确性, 证实了文献 [14] 的最新发现.

关键词 CCD 成像, UCAC3 星表, 疏散星团 M39, 自行误差, 视场扭曲

中图法分类号 P 129

Astrometric Experiment for the 1m Telescope at Weihai Observatory

LIN Zhong PENG Qingyu ZHANG Qingfeng

(*Department of Computer Science, Jinan University, Guangzhou* 510632)

(*Sino-France Joint Laboratory for Astrometry, Dynamics and Space Science Joint Laboratory, Jinan University, Guangzhou* 510632)

(*Key Laboratory of Optoelectronic Information and Sensing Technologies of Guangdong Higher Educational Institutes, Jinan University, Guangzhou* 510632)

Abstract The open cluster M39 was observed by the new 1-m telescope at Weihai Observatory, Shandong University in the night of Oct. 7, 2009. While observing, a Johnson I-type filter was used and the CCD was imaged in two orthogonal orientations, and thus 30 frames of images were delivered. After the CCD images were measured by 2-D Gaussian fit so as to obtain the star pixel positions, a number of constant plate models were attempted to solve the difference between observed positions and computed ones for each star. Our reduction of the observations showed that proper motions of the latest USNO UCAC3 star catalogue were explicitly not accurate. By contrast, those of the Platais's catalogue were found much better. This observations partly confirmed the errors in

* 国家自然科学基金项目 (10973007) 和暨南大学中央高校基本科研业务费专项资金共同资助

2010-10-29 收到原稿, 2011-03-03 收到修定稿

E-mail: lin2602126@yahoo.com.cn

the proper motions of UCAC3 recently discovered by Roeser *et al*. Experiments have also shown that the best precision for a suitable bright star was about 4∼5 milli-arcsec. It was believed that this new telescope could be used for high precision astrometry.

Key words CCD imaging, UCAC3, Open cluster M39, Proper motion, Field distortion

1 引言

长焦距望远镜常用于天然卫星的高精度天体测量 [1]. 然而, 在使用 CCD 作为终端设备时, 因为其小尺寸导致的小视场往往使得这种天体测量定标工作变得非常困难. 目前许多天然卫星的天体测量结果大多采用视场中比较亮的卫星作为参考星进行定标, 并采用比例尺和取向对 CCD 视场进行描述 [2−6]. 应当肯定, 对于主要卫星间角距离较小 (如天王星及其卫星) 的情况, 这样的亮卫星定标法 [8] 具有合理性. 但是, 对于像木星伽利略卫星成像的天体测量定标, 会面临较大的困难. 因为 4 颗卫星中最大的角距离常常会超过 10 arcmin, CCD 视场的扭曲是不容忽视的. 使用云南天文台 1 米望远镜观测疏散星团 NGC2168 的结果表明 [7], 在约 7 arcmin 的视场范围内, 这种扭曲影响可达到 100 milli-arcsec 的量级. 针对当前国际上恒星单次定位优于 10 milli-arcse 的测量精度 [9], 这种影响明显是不容忽略的. 为了更好地开展天然卫星的高精度位置测量工作, 小视场 (约 10 arcmin) 天体测量特性的研究具有重要的意义.

为了检验其高精度位置测量特性, 利用山东大学威海天文台 1 米望远镜于 2009 年 10 月 7 日晚观测了疏散星团 M39 (NGC7092). 根据最新研究结果 [7], 观测过程中将 CCD 在互成 90° 两个取向分别成像, 以确定归算使用的底片常数模型.

考虑到 CCD 视场大小, 采用了美国海军天文台发表的最新 UCAC3 星表 [10] 和 Yale 大学 Platais 照相观测 M39 的自行星表 [11] 分别进行了归算. 之所以采用 Platais 的自行星表, 是因为 Roeser 等 [14] 发现 UCAC3 星表的北天球自行系统中存在较大的误差. 因此, 使用高精度的地面观测资料进行 UCAC3 星表自行系统的检测具有一定的科学意义.

2 仪器和观测资料

使用山东大学威海天文台 (东经 122°02′59″, 北纬 37°32′09″, 海拔 100 m) 1 米望远镜, 于 2009 年 10 月 7 日进行天体测量观测. 表 1 列出了望远镜和 CCD 的参数说明. 使用的 CCD 为美国 PI 公司的产品, 具有背照式和 2048 pixel × 2048 pixel 的分辨率, 且采用半导体制冷方式 (稳定于 −55°C). 为了尽可能减少观测误差的影响, 在天顶附近进行了星团 M39 的观测, 其视场中心近似为 (21 h08 m40 s, +48°10′00″) (J2000). 观测过程中让 CCD 在互成 90° 的两个取向进行成像.

表 2 列出了观测到的 CCD 图像的情况, 其中状态 1 表示 CCD 在正常取向 (x 轴大体沿赤经方向, y 轴大体沿赤纬方向), 状态 2 表示绕光轴转动约 90° 的情况.

3 图像处理

图 1 是一帧 CCD 在状态 1 时观测的典型图像. 其中有少数几颗星出现了饱和. 视场中星像密集, 星像半高全宽 (FWHM) 约为 4 pixel. 这里采用 Stetson

表 1 威海天文台 1 米望远镜和 CCD 的参数说明

Table 1 Specifications for the telescope and CCD chip

焦距	8700 mm
主镜直径	100.5 cm
CCD 视场	$11.9' \times 11.9'$
像元尺寸	$13.5\,\mu m \times 13.5\,\mu m$
CCD 矩阵大小	2048 pixel × 2048 pixel
近似比例尺	$0.37''$/pixel

表 2 CCD 图像的说明

Table 2 CCD images delivered by two orthogonal orientations

状态	图像帧数	曝光时间/s	滤光片
1	15	35	I
2	15	35	I

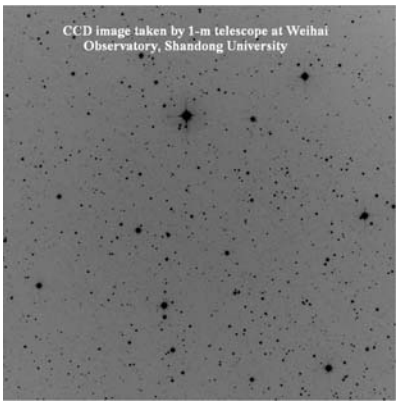

图 1 一幅典型的 CCD 图像

Fig. 1 A typical CCD image

的 DAOPHOT 软件 [4] 进行测量. 经试验得到的参数采用值列于表 3.

值得提出的是, 虽然 M39 是疏散星团, 但观测的中心区域星像非常密集, 此时采用简单的孤立星的搜索方法是不适合的.

4 资料归算与分析

4.1 底片常数模型

测量完每幅 CCD 图像中星像的量度坐标和光度以后, 需要依量度坐标和光度与星表中已知星进行匹配. 这里采用文献 [13] 中开发的软件. 结果表明, 每一视场中能匹配 300 多颗 UCAC3 星表星. 扣除明

表 3 测量恒星时采用的参数说明 (单位: FWHM)

Table 3 Parameters for measurement of stars (unit: FWHM)

cbox	aperture	psfrad	annulus	dennulus	fitrad
2	2.5	4	4	4	1

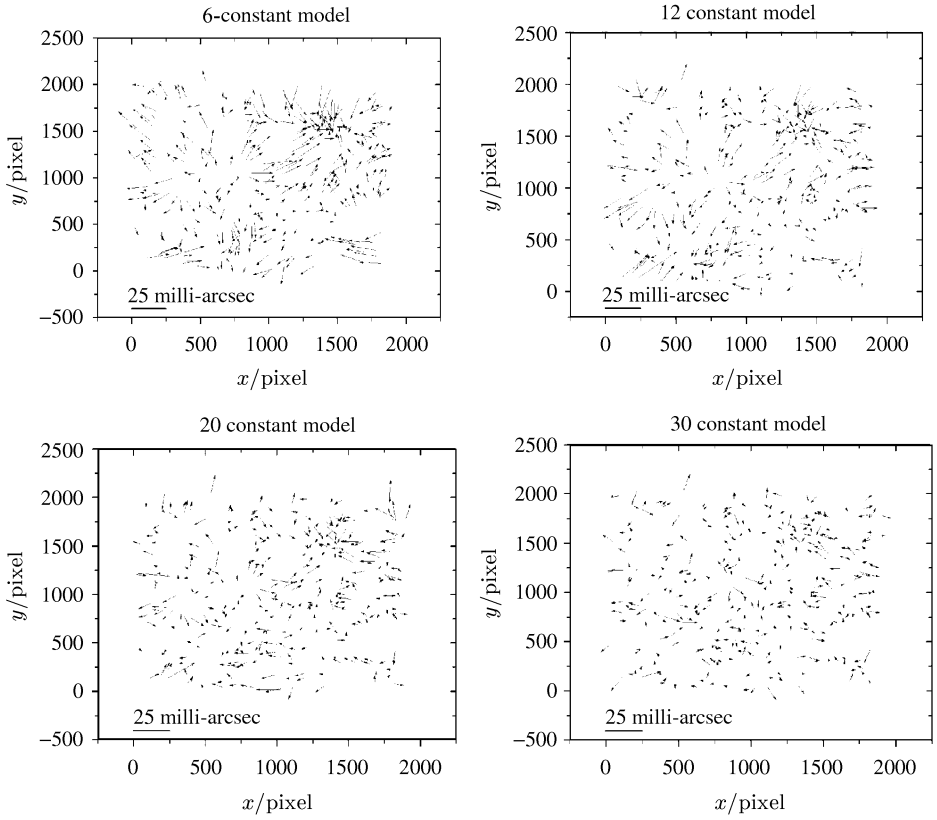

图 2 使用不同常数模型求解同一颗星转前转后平均 $O-C$ 之差

Fig. 2 Distribution of the difference of mean $(O-C)$ in sense of before minus after CCD rotation when different constant plate models are adopted

显饱和星像并提取 CCD 转前转后的共同星, 最后得到每个视场 308 颗共同星.

为了准确确定底片常数模型, 需要首先计算每颗恒星的理论位置 (在站心位置基础上还考虑了大气折射和中心投影的影响). 采用最新开发的技术 [7], 在某一常数模型下分别测定同一颗星 CCD 转前或转后位置测量的平均观测位置与计算位置之差, 即 $O-C$, 进而对同一颗星求两平均 $O-C$ 之差. 如果该差值很小, 且随星像在视场中的位置随机分布, 则可认为该模型是准确的.

图 2 给出了底片常数模型的常数分别为 6, 12, 20 和 30 时上述平均 $O-C$ 之差的分布情况. 可以看出, 30 常数模型求解是最准确的.

4.2　平均 $O-C$ 与自行的关系

由于同一颗星 CCD 转前转后平均 $O-C$ 之差与星的理论位置之间具有一定的独立性, 可以确定底片常数模型, 并得到转前转后共同求解时几乎相同的 $O-C$ 之值. 图 3 和图 4 分别给出了每颗星赤经、赤纬方向平均 $O-C$ 与该方向自行的关系. 从图 3 可以看出, 该平均 $O-C$ 与相应方向的自行有着明显的线性关系. 在赤纬方向 (见图 4), 虽然这种线性关系没有那么强, 但线性关系是明显存在的, 这使 UCAC3 星表自行系统的准确性受到质疑.

为了证实 UCAC3 星表中自行的误差, 这里采用了 Yale 大学 Platais 用照相方法测定 M39 的自行星表 [11]. 为便于比较, 将该星表与 UCAC3 星表中的共同星挑选出来, 发现只有 108 颗, 并将其星表自行替换 UCAC3 自行后重新进行 30 常数模型求解. 图 5 给出了赤经方向所有 30 幅图像平均 $O-C$ 与自行的相应关系. 可以看到, 在赤经方向的平均 $O-C$ 与自行之间已经没有明显的相关性. 同样的情况存在于赤纬方向 (见图 6). 而采用 UCAC3 星表中的 108 颗星按 30 常数模型重新求解时, 几乎直线的相关性依然明显.

图 7 和图 8 给出了采用 30 常数模型并使用 Platais 自行星表和 UCAC3 星表进行最终归算的位置精度. 比较图 7 和图 8 可见, 不同星表归算后单次

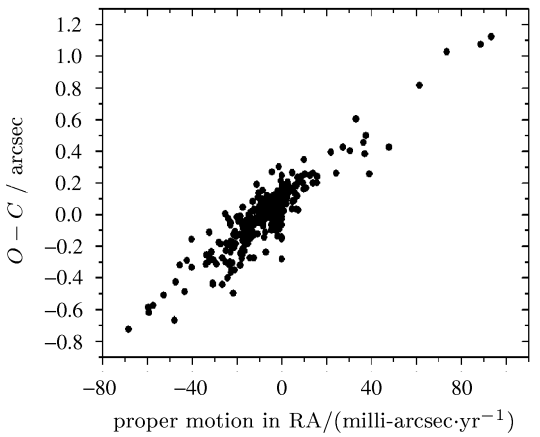

图 3　赤经方向平均 $O-C$ 与相应方向自行的关系

Fig. 3　Relation between the mean $(O-C)$ in Right Ascension (RA) and its corresponding proper motion

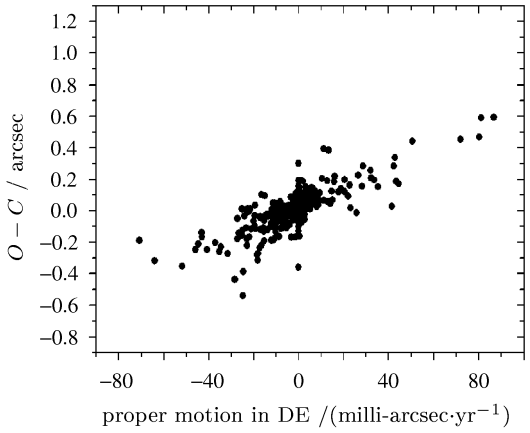

图 4　赤纬方向平均 $O-C$ 与相应方向自行的关系

Fig. 4　Relation between the mean $(O-C)$ in Declination (DE) and its corresponding proper motion

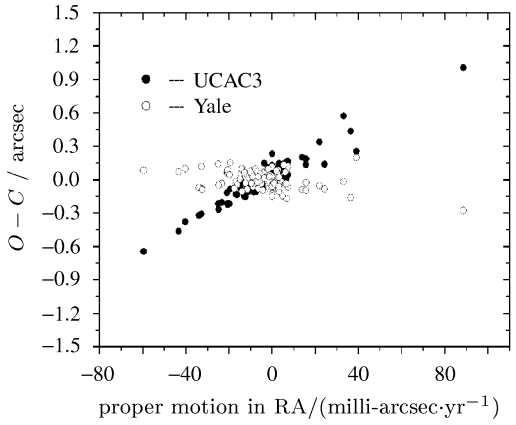

图 5　赤经方向所有 30 幅图像平均 $O-C$ 与自行的关系

Fig. 5　Relation between mean $(O-C)$ and proper motion in Right Ascension (RA) when all 30 images are combined to solve

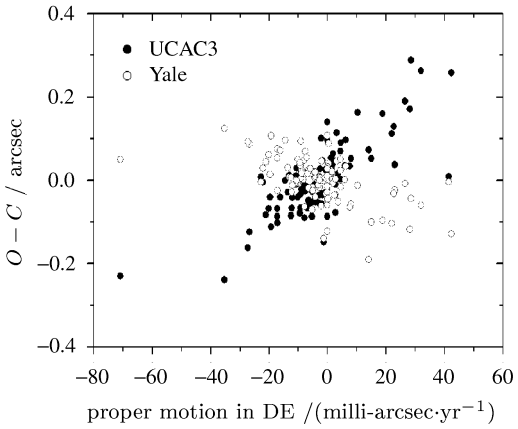

图 6 赤纬方向所有 30 幅图像平均 $O-C$ 与自行的关系

Fig. 6 Relation between mean $(O-C)$ and proper motion in Declination (DE) when all 30 images are combined to solve

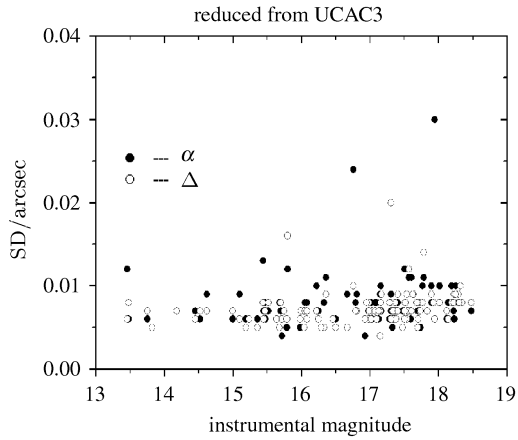

图 7 使用 UCAC3 星表归算精度

Fig. 7 Standard Deviation (SD) against instrument magnitude by comparison with the star catalogue UCAC3

测量精度 (标准差) 几乎相同, 最好的单次观测精度为 4~5 milli-arcsec. 很明显, 这一精度稍优于目前国际上最好的位置测量精度 (约 7 milli-arcsec)[9]. 平均而言, 赤经和赤纬方向的单次观测精度均优于 8 milli-arcsec. 应当看到, 图 7 和图 8 中的少数星呈现明显不同的标准差. 导致这种情况的原因, 对于亮星 (仪器星等值较小), 可能是由于饱和或有时饱和的缘故, 而对于暗星, 则难以解释, 有待于继续深入的研究.

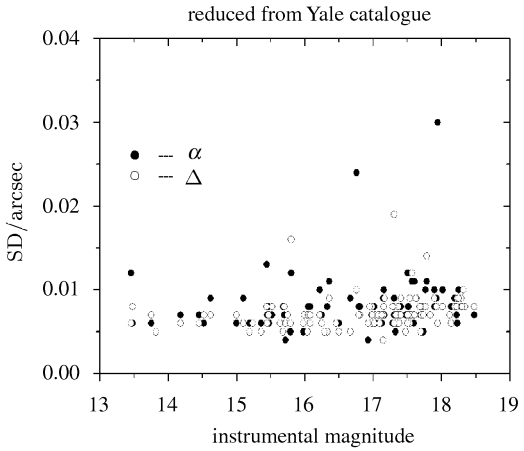

图 8 使用 Yale 星表归算精度

Fig. 8 Standard Deviation (SD) again instrument magnitude by comparison with the Yale catalogue

5 讨论和结论

采用 UCAC3 中 J2000 历元的位置与 Yale 自行星表中的自行组合来进行观测资料的归算, 这种方法表面上存在一定的不一致性. 因为 UCAC3 中 J2000 历元的位置是经观测历元的位置和自行计算出来的. 如果自行有误, 则 J2000 历元位置必然带来一定的误差. 但因 UCAC3 星表没有列出观测历元, 因此, 不能实施准确的 J2000 位置计算 [14].

应该注意的是, 文中给出的位置测量精度不等于观测资料的准确度. 这是因为星表位置本来就存在较大系统差 (见图 5 和图 6). 欧空局将于 2012 年发射的 Gaia 天体测量卫星将获得位置精度达到微角秒级的高精度星表. 届时地面望远镜 CCD 观测的天体测量潜能将得到充分发挥.

威海天文台 1 米望远镜观测疏散星团 M39 的实验表明, 该系统具有良好的天体测量性能, 最好的位置测量精度能够达到 4~5 milli-arcsec (单次测量精度), 而且该观测资料验证了 Roeser[14] 等发现的 UCAC3 星表的自行误差. 随着国际高精度空间天体测量计划的实施, 该望远镜将能更充分发挥其高精度天体测量性能.

致谢 山东大学威海分校空间科学与物理学院夏利东教授、陈耀教授对本文进行了指导, 威海天文台的尹红星博士、

郭迪福老师在望远镜操作及资料处理过程中给予了热情的帮助. 资料处理过程中与南京大学朱紫教授以及上海天文台李金岭研究员进行了有益的讨论.

参考文献

[1] Pascu D. Long-focus CCD astrometry of planetary satellites [R]//1996, Dynamics, Ephemerides, and Astrometry of the Solar System: Proceedings of the 172nd Symposium of the International Astronomical Union. France, 38 July, 1995. Sylvio Ferraz-Mello, Bruno Morando, Jean-Eudes Arlot ed., 373-388. 172

[2] Harper D, Murray C D, Beurle K, *et al.* CCD astrometry of Saturn's satellites 1990–1994 [J]. *Astron. Astrophys.* 1997, **121**(Supp.):65-69

[3] Vienne A, Thuillot W, Veiga C H, *et al.* Saturnian satellite observations made in Brazil during the 1995 opposition with an astrometric analysis [J]. *Astron. Astrophys.*, 2001, **380**:727-733

[4] Shen K X, Qiao R C, Harper D, *et al.* Astrometry of five major Uranian satellites in 1995–1997 [J]. *Astron. Astrophys.*, 2002, **391**:775-779

[5] Peng Q Y, Vienne A, Shen K X. Positional measuring procedure and CCD observations for Saturnian satellites [J]. *Astron. Astrophys.*, 2002, **383**:296-301

[6] Peng Q Y, Vienne A, Wu X P. CCD positions of Saturn and its major satellites from 2002–2006 [J]. *Astron. J.*, 2008, **136**:2214-2221

[7] Peng Q Y, Fan L Y. Accurate determination of the plate model based on CCD images with different orientations [J]. *Chin. Sci. Bull.*, 2010, **55**(7):541-546

[8] Shen K X, Dourneau G, Qiao R C, *et al.* Analysis of satellites calibration methods for CCD astrometry of Saturn's satellites [J]. *Astron. Astrophys.*, 2001, **367**:1061-1069

[9] Anderson J, Bedin L R, Piotto G, *et al.* Ground-based CCD astrometry with wide field imagers. I. Observations just a few years apart allow decontamination of filed objects from members in two globular clusters [J]. *Astron. Astrophys.*, 2006, **454**:1029-1045

[10] Zacharias N, Finch C, Gitard T, *et al.* The third US observatory CCD astrograph catalog (UCAC3) [J]. *Astron. J.*, 2010, **139**:2184-2199

[11] Platais J. Catalogue of proper motions, UBV-photometry and spectral classification in the region of NGC7092 (M39) [J]. *Bull. Inf. Center Don. Stel.*, 1994, **44**:9-15

[12] Stetson P B. DAOPHOT-A computer program for crowded-field stellar photometry [J]. *Public. Astron. Soc. Pacif.*, 1987, **99**:191-222

[13] Ren Junjie, Peng Qingyu. Comparison of Two Fast object matching algorithm [J]. *Astron. Res. Tech.* 2010, **7**:115-123. In Chinese (任俊杰, 彭青玉. 两种快速星像匹配算法的比较 [J]. 天文研究与技术, 2010, **7**:115-123)

[14] Roeser S, Demleitner M, Schilbach E. The PPMXL catalog of positions and proper motions on the ICRS. Combining USNO-B1.0 and the Two Micron All Sky Survey (2MASS) [J]. *Astron. J.*, 2010, **139**:2440-2447