

# 玻璃子午环在建立惯性坐标系中的作用

李志刚

(中国科学院陕西天文台)

## 提 要

预计Hipparcos计划测定位置和自行的精度要比地面仪器高一个数量级。在这种情况下,地面仪器在未来能起什么作用呢?本文对地面仪器的目前情况进行了调查。用一架现代子午环的观测结果进行模拟并和Hipparcos计划相比较。用现代子午环获得的天体位置和自行是极为有价值的,并证明了玻璃子午环在建立惯性框架中的作用。

## 一、前 言

子午环是天体测量中最基本的仪器,专门用于天体位置的精确测定。

近几年来,子午环的自动化以及光子计数技术的应用,使子午环在建立参考系中发挥更大的作用。过去目视观测极限星等约 $10^m$ 左右。而如今,光子计数技术的应用,极限星等可达 $13^m$ ,有的甚至达 $13.5^m$ ,单次观测精度优于 $0''.2$ ,星等测定精度可达 $\pm 0.05^m$ 。观测对象除了恒星外,还有太阳系天体。一架安装在良好观测条件中的子午环,一年可观测十万余次。无疑,子午环观测所获得的天文资料是研究太阳系天体、银河系动力学、恒星的形成、宇宙的年龄、恒星的分布以及参考系的建立等各个领域的基础。

哥本哈根大学天文台(CUO)霍克博士设计的玻璃子午环(GMC)采用了水平式望远镜系统,它克服了望远镜由于重力影响引起的镜筒弯曲,因而仪器有较大的有效口径。GMC(有效口径为24cm)将成为世界上有效口径最大的一架子午环。显然,这样的子午环和其他子午环相比将更适于观测暗天体。

GMC的另一个特点是结构紧凑,与传统子午环相比较,机械精度要求低,用检测装置来实时测定仪器误差并对每一次观测进行改正,从而消除了仪器误差对观测结果的影响。因此,观测精度随着检测精度的提高而提高。初步估计,GMC单次观测精度优于 $0''.2$ 。

GMC采用完全自动化的方案,用两个光波段同时进行观测,并设计成可观测太阳系天体,是一架高效率的仪器。

虽然子午环观测工作在近百年来获得了很大的进展,但由于:1.地球大气的影响致使测定的位置偏离真实的位置;2.重力影响致使仪器镜筒弯曲;3.仪器有各自的系统差,很难从观测结果中扣除掉。于是产生了一个新学科——空间天体测量学。

空间天体测量卫星始于1966年,经过二十年的努力,可能将于1988年正式投入工作。工作

1986年4月16日收到。

期限为2.5年。空间天体测量卫星(Hipparcos) 预计观测十万颗天体, 自行和位置测定平均精度分别为 $0''.002/\text{年}$ 和 $0''.002$ 。视差测定精度为 $0''.002$ 。此外, 与此相联系的第谷(TYC-HO) 计划可测定40万颗星的位置和自行, 定位精度为 $0''.03$ 。无论从数量还是从精度来说, 空间天体测量是基本天体测量方面的一个重大发展。

GMC 是新型的仪器, 和传统子午环相比有明显的优点。可是, 我们还必须关注空间天体测量的进展。对空间天体测量进展的考虑是鉴定新型仪器是否有生命力的一个基本出发点。

## 二、基本天体测量的现状

天体测量学是天文学的一个分支, 是研究天体位置和运动的一门科学。也就是说, 在给定的参考系内给出天体(恒星、河外源、太阳系天体)任意一个时刻的位置, 即给出历元平位置、自行和视差。

天体测量学具有悠久的历史。它的发展, 特别是近百年来的发展是相当迅速的, 定位精度几乎有一个数量级的提高。图1表示了各个时期测定恒星位置的精度。

空间天体测量和射电天体测量对光学基本天体测量有着革命性的影响。空间天体测量将给出一个非常均匀的参考系, 射电天体测量将给出一个以河外射电源为背景的惯性参考系。把空间天体测量向暗星方向扩展以及把基本参考系和惯性参考系联结起来的任务只能由光学天体测量来完成。所以, 它们的出现对光学天体测量提出了更高的要求, 要求有更高的定位精度和观测暗天体的能力。

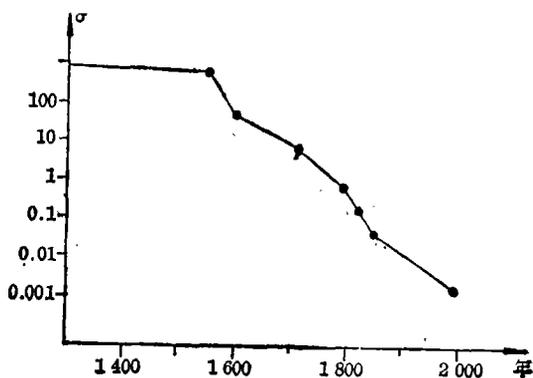


图1. 恒星位置定位精度(单位: 角秒)。

### 1. 目前位置和自行的精度

由于自行的关系, 在观测历元, 天体位置有较高的精度。随着时间的推移, 天体位置精度明显下降, 这可用下面公式来表示:

$$\sigma_{P_t}^2 = \sigma_{P_0}^2 + \sigma_{\mu}^2 (t - t_0)^2$$

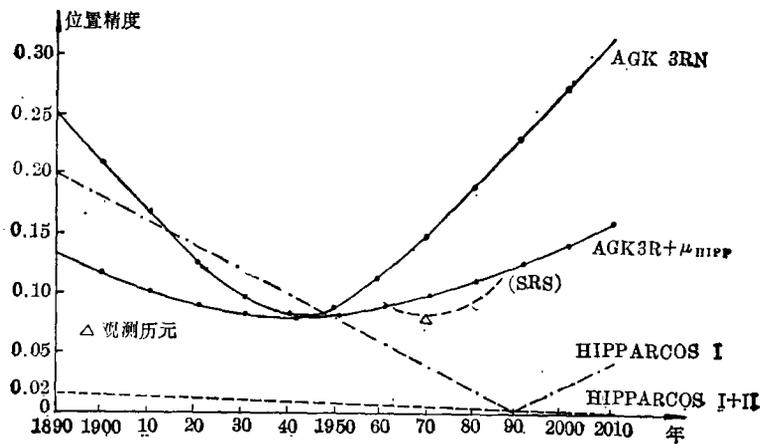
其中 $\sigma_{P_t}$ ——时刻 $t$ 的天体位置精度,

$\sigma_{P_0}$ ——星表历元 $t_0$ 的位置精度,

$\sigma_{\mu}$ ——星表的自行精度。

图2表示了几个主要参考星表在不同历元的位置精度。在远离星表观测历元, 位置精度明显下降, 这与自行的精度有关。

一个星表的使用寿命和自行有很大的关系。要使自行有较高的精度, 就要求有较长的观测历史, 这正是经典天体测量的长处。也许“扬长避短”是经典天体测量的方向。FK4星表收集了大约50年的观测资料, 其自行精度为 $0''.002/\text{年}$ 。另外, 较高的观测精度同样能得到较

图2.几个主要参考星表的精度(单位:  $0''.001$ )。

高的自行精度。Hipparcos计划仅有2.5年的观测周期,但它定位精度高( $0''.002$ ),因此,同样能获得 $0''.002/\text{年}$ 的自行精度。

表1列出了几个著名星表的自行,有子午环测定的星表,也有照相星表,还列出了空间天体测量的结果。虽然TYCHO计划定位精度低,但若利用AGK<sub>2</sub>结果同样能得到较高的自行精度。

表1 自行测定精度的统计

星表名	平均误差( $1'' \times 10^{-5}/\text{年}$ )	星数	极限星等	出版日期(年)
子午环:				
FK <sub>3</sub>	2	~5,000	~9.2	
FK <sub>4</sub>	2	1,535	7.5	1963
FK <sub>4,sup</sub>	3	1,987	7.5	1963
N30	5	5,268	8.0	1952
AGK <sub>3,R</sub>	5	21,499	9.0	1977
SRS	~7	20,495	9.0	
IRS	6	38,627	9.0	
GC	10	33,342	9.0	1937
照相星表:				
AGK <sub>3</sub>	10	183,173	11.0	1975
YZC	12	~220,000	11.0	1939
SAOC	15	258,997	11.0	1966
空间天体测量:				
Hipparcos	2	~100,000	13	?
TYCHO(和AGK <sub>3</sub> 联合)	3	~400,000	11	?

## 2. 惯性参考系和基本参考系

不久的将来(1988年),经典仪器测定时间和纬度的工作将被新技术所替代。这意味着,在

测量地球自转参量上经典仪器已完成了其历史使命,经典仪器只能在其他领域内发挥其作用。

VLBI之所以在测定地球自转参量上取代经典仪器,这是因为:1.定位精度高。目前经典光学仪器单次观测精度为 $0''.2$ ,而VLBI结果几乎要高一个量级;2.以射电源作为参考框架。射电源是离地球相当遥远的河外源,其视运动相当小,每年变化小于 $1'' \times 10^{-6}$ 。所以,可看作在天球上不动的参考点,由它定义的参考系可作为惯性系;3.可全天候观测,不受天气的影响。高精度的连续观测,使我们有可能研究地球自转的短周期项和不规则项。

但是,要真正建立一个惯性参考系,需有足够多的源,并要对源进行仔细的分析,即了解有关源结构方面的知识。所以惯性参考系的建立有待于天体测量学家、天体物理学家们的共同努力。此外,还存在基本参考系和惯性参考系联结起来的问题。我们说两个系统的联结只有当两个系统的精度可以比较的时候,这种联结才算完成。所以,问题的关键在于提高光学天体测量的定位精度。

### 3. 水平子午环的近况

由于地球重力和热效应的影响使得望远镜镜筒产生重力弯曲和热形变,这就限制了望远镜的口径,7英寸口径几乎是经典式子午环的极限。水平子午环克服了镜筒弯曲的缺点,所以引起天文学家的特别重视。特别是近年来,由于联结惯性坐标系需要观测暗天体,水平子午环更显出其突出的优点。

为了发展水平子午环,IAU第8专业委员会成立了水平子午环研究组,不定期地报告水平子午环的进展和研究论文。目前,至少有三种不同类型的水平子午环正在研制之中。最早进入实用阶段的苏联普尔柯沃天文台水平子午环,几年来的观测结果表明:水平子午环稳定性好、精度高、单次观测精度达 $0''.18$ ,与最佳经典式子午环观测精度相当,仪器系统误差不超过 $0''.3$ 。显然,仪器重力弯曲是相当小的。另外,基辅天文台正在研制另一种类型的水平子午环。中国与丹麦合作的水平子午环正在按计划进行。通过对5cm的样机观测,证明了设计原理的正确性。一个口径为24cm的水平子午环预计于1988年在陕西天文台安装。根据目前对玻璃子午环机械性能的测试,证明了仪器重力弯曲是相当小的。

## 三、全自动子午环可达到的精度

要讨论一架仪器是否有生命力,就要讨论该仪器所能做的工作以及可能达到的精度,才能最终对该仪器得出正确的评价。

一架全自动子午环一年能观测十余万次,单星观测精度优于 $0''.18$ ,观测极限星等暗于 $13^m$ 。我们用这样的一架现代化子午环来模拟其工作精度。

假定观测从1988年开始,并假定我们对每一颗星每年观测2次,那末,可获得含有5万余颗星的恒星星表。这样一个星表比国际参考星表的星数还多。表2给出了一架全自动子午环和Hipparcos结果的比较。第二和第三行分别给出了一架子午环获得的自行精度和位置精度,第四行给出了Hipparcos计划的位置精度,第五和第六行分别给出了AGK<sub>2</sub>星表和一架子午环结果联合的位置精度和自行精度。显然,如果仅用子午环观测结果,几乎要经过二十年的努力才能和Hipparcos结果相当,这充分说明了Hipparcos计划的重要性。但如果利用以

前的结果, 例如联合 AGK<sub>2</sub> 结果, 那末位置和自行的精度有明显的改善, 数年的结果便可与 Hipparcos 相比拟。由于子午环有相当长的观测历史, 它在星表工作中仍处于不可动摇的地位。

表 2 一架全自动子午环测定自行和位置的精度

日期(年)	$\sigma_{\mu}$ ("/年)	$\sigma_{P_1}$ (")	$\sigma_{PHIP}$ (")	$\sigma_{P+AGK_2}$ (")	$\sigma_{\mu+AGK_2}$ (")
1990	0.180	0.201	0.004	0.0800	0.0031
1992	0.057	0.130	0.008	0.0661	0.0029
1994	0.030	0.105	0.012	0.0548	0.0027
1996	0.020	0.091	0.016	0.0491	0.0027
1998	0.014	0.081	0.020	0.0452	0.0026
2000	0.011	0.074	0.024	0.0426	0.0025
2002	0.008	0.068	0.028	0.0408	0.0024
2004	0.007	0.064	0.032	0.0395	0.0023
2006	0.006	0.060	0.036	0.0385	0.0022
2008	0.005	0.057	0.040	0.0378	0.0021
2010	0.004	0.054	0.044	0.0371	0.0021

#### 四、子午环和Hipparcos 计划

欧洲空间局(ESA) 根据全世界天文学家呈交的193个课题, 归并成21万颗星的观测待选星星表, 并根据优先程度分成五个等级。结果见表 3。

表 3 伊巴谷待选星统计表

等级	1	2	3	4	5	总计
$m < 8.0^m$	42,743	37	20	232	357	43,389
$8^m - 9^m$	43,470	3,679	965	8,963	3,657	60,734
$9^m - 10^m$	19,783	4,467	5,122	24,415	10,320	64,107
$10^m - 11^m$	5,720	1,156	1,660	11,648	6,162	25,346
$11^m - 12^m$	1,435	202	224	1,583	983	4,430
$12^m - 13^m$	453	60	48	758	297	1,055
$m > 13^m$	86	3	3	49	51	192
未知星等	4,686	889	810	2,482	602	9,469

最终的观测星表基本上从第一等级中选取。但是, 如果后面等级的星不和前面等级的星争夺观测时间, 那末, 也可被选作观测星。预计第一等级中90%的星被选为 Hipparcos 星, 至于哪一颗星被选中要到1987年才能最后确定。

在选取21万颗星的计划中, 卫星仅能观测其中的一半, 另外一半尽管是天文学家感兴趣的星, 但由于卫星观测能力的限制而不能被观测。特别是其中暗于  $9.5^m$  的星, 这些星并不包括在弟谷计划内(弟谷计划的极限星等为  $10.5^m$ , 星等误差约为  $\pm 1^m$ )。所以, 观测这部分星有

特别重要的意义。GMC 极限星等为 $13^m$ ,有足够的灵敏度来观测剩余的全部星。

不久,ESA将公布全部待选星。这样,子午环观测将是Hipparcos观测的重要补充。

## 五、GMC在开展惯性参考系和其他研究工作中的作用

### 1. 开展参考系的工作

一个以河外源为背景的惯性参考系正在建立,联结基本参考系和惯性参考系是目前迫切需要解决的重大课题。目前有两种方法可进行这种联结:

#### (1) 观测射电星

目前,IAU已推荐一百多颗射电星作为测量用。一般来说,射电星的目视星等亮于 $13^m$ ,所以用GMC观测射电星是特别有效的,可直接把基本参考系和惯性参考系联结起来而无任何精度损失。因此,这种方法有较高的联结精度。

#### (2) 观测射电源周围的星

这是一种间接的方法。射电源的目视星等一般为 $17^m$ — $18^m$ ,子午环可观测射电源周围暗至 $13^m$ 的星作为定标星,经一次照相过渡可达到射电源的光学对应体。子午环是作这方面研究的最理想的观测仪器。但由于照相定位精度约为 $0''.1\sim 0''.2$ ,这就限制了联结精度。

### 2. 修平FK5中暗于 $7.5^m$ 的星

一般来说,FK5中亮于 $7.5^m$ 的星大部分来自FK4或FK4sup,这些星具有较长的观测历史,因而有较高的位置精度。观测这些星可研究仪器本身的误差,而对星表本身的贡献并不太大。但对于暗于 $7.5^m$ 的星,其位置精度较差,子午环的观测能改善其位置精度。子午环能观测到地平高度 $15^\circ$ 的天体。采用狭缝跟踪测微器可观测近极星。因此,几乎从极区到南纬 $40^\circ$ 天区内的所有的星都可用GMC来观测。这些资料对提高基本参考系的精度是相当有价值的。

### 3. 测定动力学分点

目前FK5的分点改正主要是由子午环观测太阳系的天体来确定的。GMC设计成可观测太阳系天体,所以GMC可以进行分点测定工作。

陕西天文台的地理纬度为 $35^\circ$ ,原则上可用上下中天法进行绝对测定,但是这种方法需要较长的观测时间,在这么长的时间内很难使仪器状态不变,因而这种方法并不能得到很高的精度。我们把太阳系天体放在FK5系统内进行研究,这样可以确定参考系的分点改正。

## 六、结 论

综上所述,子午环在建立坐标系中是一种强有力的工具,就是在空间卫星发射之后,子午环由于具有观测暗天体的能力,在星表工作中仍处于不可动摇的地位。因此,发展子午天文,可以填补我国在这方面的空白,在星表工作中作出贡献。

## 参 考 文 献

- [1] Høg, E., in *Highlights of Astron.*, 783, ed. by P. A. Wayman; Dordrecht, D. Reidel (1980).
- [2] Høg, E., *Astron. Astrophys.*, **19** (1972), 27.
- [3] Dačić, M., *Bull. Obs. Astron. Belgrade*, **134** (1984), 1.
- [4] Fricke, W., *ESASP—177*, (1982), 43.
- [5] Fricke, W., *Mitteilungen, Serie A*, No. 158, (1984), 138.
- [6] Argue, A. N., *Astron. Astrophys.*, **130** (1984), 191.
- [7] Froeschle, M. and Kavalevsky, J., *Astron. Astrophys.*, **116** (1982), 89.
- [8] Gliese, W., *Colloquium on European Satellite Astrometry*, (1978), 195.
- [9] Høg, E., *Astron. Astrophys.*, **75** (1979), L4.
- [10] Walter, H. G. and Röhl, E., *Mitteilungen, Serie B*, No. 126, (1983), 33.

(责任编辑 林一梅)

## On the Importance of GMC Observation for Establishing Inertial Frame

Li Zhigang

(Shaanxi Observatory, Academia Sinica)

### Abstract

While HIPPARCOS is expected to measure position and proper motion with an order of magnitude more accurate than those obtained by ground-based instruments, what can ground based instruments do in the future? The investigation for present state of the ground-based instruments, in here, is done. We made a simulation of observation results given by a modern meridian circle and compared it with the results of HIPPARCOS project. The position and proper motion of stars obtained by meridian circle are very valuable and the importance of GMC (Glass Meridian Circle) observation for establishing inertial frame is confirmed.