

星表零点改正的确定工作

魏 学

(中国科学院上海天文台)

提 要

本文对星表零点改正工作作了简要回顾。

一、引 言

天体测量的基本任务之一是建立一个惯性参考系,以便研究宇宙中天体的运动规律。天文观测中所采用的参考标架是由基本星表中的星位和自行来实现的。确定星表零点(分点与赤道)从而改进基本星表,是天体测量学中的一项重要工作,本文试图对该领域中的工作给予综述。

二、确定星表零点改正的误差方程

测定星表零点改正的方法可分为两类^[1]。第一类方法在建立解算星表零点改正的误差方程时,消除了轨道根数不精确及其他可估计因素的影响,如Newcomb提出的利用太阳观测确定星表零点的方法等。第二类方法是利用轨道微分改进方程,补上作为未知数的星表零点改正建立误差方程,同时解算星表零点与轨道根数改正。

利用太阳观测确定星表零点的基本原理是Newcomb提出的^[2],误差方程为:

$$\alpha_0 - \alpha_c = -E + \Delta\lambda \cos \varepsilon \sec^2 \delta - \Delta\varepsilon \cos \alpha \operatorname{tg} \delta$$

$$\delta_0 - \delta_c = -D + \Delta\lambda \sin \varepsilon \cos \alpha + \Delta\varepsilon \sin \alpha$$

左端为 $(O-C)$, E, D 及 $\Delta\lambda, \Delta\varepsilon$ 是待求量。

引入描述星表赤道与真赤道间的旋转角 $(\lambda_1 - \lambda)$ 及 $(\varepsilon_1 - \varepsilon)$, Феноров与Duma分别提出了修正的Newcomb方法^{[3], [4]}, 然而, 由于无法分离 $\Delta\lambda$ 与 $(\lambda_1 - \lambda)$ 及 $\Delta\varepsilon$ 与 $(\varepsilon_1 - \varepsilon)$, 修正的Newcomb方法并无实质性的改正^[5]。

在利用行星的子午观测确定星表零点改正的工作中, 大都采用Brouwer的误差方程^[6],

$$\alpha_0 - \alpha_c = -E + \sum_{i=1}^n \frac{\partial \alpha}{\partial C_i} \Delta C_i + \sum_{i=1}^4 \frac{\partial \alpha}{\partial C'_i} \Delta C'_i$$

$$\delta_0 - \delta_c = -D + \sum_{i=1}^n \frac{\partial \delta}{\partial C_i} \Delta C_i + \sum_{i=1}^4 \frac{\partial \delta}{\partial C'_i} \Delta C'_i$$

其中,

$$\Delta C = \begin{bmatrix} \Delta M_0 \\ \Delta I \\ \Delta \Omega + E \\ \Delta \omega \\ \Delta a \\ \Delta e \end{bmatrix} \quad \Delta C' = \begin{bmatrix} -\Delta M_0' \\ \Delta e' \\ \Delta \omega' \\ \Delta e \end{bmatrix}$$

引入 $(\lambda_1 - \lambda)$, $(\varepsilon_1 - \varepsilon)$ 后, Duma给出了含有14个未知数的误差方程^[3], 利用Brouwer误差方程及Duma误差方程, Duma解算了1928—1971年间六个天文台的观测资料^[7], 两种方法求得的零点改正符合得很好, 亦即, 引入 $(\lambda_1 - \lambda)$, $(\varepsilon_1 - \varepsilon)$ 对星表零点改正并没有影响。

严豪健等进一步研究了Duma误差方程^[8], 他们认为Duma误差方程的解向量中应该包括历表黄道相对于真黄道的偏转分量。Duma忽略了空间轨道指向的向量特点, 丢弃了“极有物理意义的一项”, 虽然修正的Duma分点改正从几何上看与Brouwer分点改正类同, 但在物理意义上却应赋予新的解释, 它是一个历表分点改正。

三、确定零点改正的方法及其优缺点

太阳系天体的观测资料一直被用于确定星表零点改正。

确定星表零点的经典方法是观测太阳。可是, 由于目视观测太阳的精度很低, 而且可供选择的定标星很少, 人们便选用角直径较小, 能够在夜间观测的大行星。但是, 大行星的视圆面等因素使得大行星观测精度也很低。Dyson提出了利用小行星观测确定星表零点改正的方法^[9]。小行星在天文底片上的星像与恒星星像一样, 因此能以与参考星相同的精度得到它们的位置, 单次位置的平均误差要比大行星小1.5—2.0倍^[10]。利用照相方法观测各类天体的精度大约为: 恒星 $\pm 0''.15$, 大行星 $\pm 0''.25$, 小行星 $\pm 0''.15$, 月亮 $\pm 0''.35$ ^[14]。

尽管利用小行星观测确定星表零点改正具有许多优点, 但在近几十年来进行的一系列小行星照相观测, 并没有得到预期的精度。分析表明, 主要是以下几个方面原因限制了小行星观测资料确定零点改正的精度^[12]:

(1) 望远镜的口径限制了可以取得的星等, 多数观测分布在黄道附近, 并且集中在冲的附近, 使得未知数之间的相关性很大^{[16], [13-15]}。

(2) 作为参考星表的AGK3R的精度大致为 $\pm 0''.30$, 而SAO星表的精度已接近 $1''$, 所以由此确定的小行星位置的精度并不像预期的那样高, 大约在 $\pm 0''.30$ 。

(3) 另一个实际困难是无法将小行星观测归纳到统一的坐标系中^[16]。

利用大口径、长焦距的现代望远镜, 或者附有CCD检测装置, 观测暗的小行星(17等), 可以使得分布比较合理, 从而克服第一个困难。为了解决后面两个问题, Hemenway等提出了“交叉点”观测方法^{[17], [18]}。

一般由小行星观测资料归算零点改正的误差方程为:

$$a_0 - a_c = \sum_i \frac{\partial a}{\partial E_i} \Delta E_i$$

$$\delta_0 - \delta_c = \sum_i \frac{\partial \delta}{\partial E_i} \Delta E_i$$

通过交叉点观测, 得到两颗小行星在 t_1, t_2 时刻(过交叉点)的位置 $\alpha_0^{(1)}(t_1), \alpha_0^{(2)}(t_2)$, 则有:

$$\alpha_0^{(j)}(t_j) - \alpha_c^{(j)}(t_j) = \sum_i \frac{\partial \alpha^{(j)}(t_j)}{\partial E_i^{(j)}} \Delta E_i^{(j)}$$

其中, $\alpha_c(t)$ 是 t 时刻小行星的位置。

由于

$$\alpha_0^{(j)}(t_j) = \alpha_{f_c}^{(j)} - \Delta \alpha_0^{(j)}(t_j)$$

其中, $\alpha_{f_c}^{(j)}$ 为视场中心的坐标, 因为是在交叉点观测, 所以,

$$\alpha_{f_c}^{(j)} = \alpha_c^{(j)}$$

于是,

$$\begin{aligned} & \Delta \alpha_0^{(2)}(t_2) - \Delta \alpha_0^{(1)}(t_1) \\ &= \alpha_c^{(2)}(t_2) - \alpha_c^{(1)}(t_1) + \sum_i \frac{\partial \alpha^{(2)}(t_2)}{\partial E_i^{(2)}} \Delta E_i^{(2)} - \sum_i \frac{\partial \alpha^{(1)}(t_1)}{\partial E_i^{(1)}} \Delta E_i^{(1)} \end{aligned}$$

这就是交叉点观测方法的误差方程。该方法具有两个优点:

- (1) 不受参考星表误差的影响, 从而提高了观测精度, 并将观测归算到同一系统;
- (2) 引入了两个小行星轨道根数之间的数学关系。

另外, 月掩星观测也为确定星表零点改正提供了重要资料。^{[19], [20]}

现今, 利用新技术观测资料确定星表零点改正已成为可能。利用激光测距、行星的雷达观测等资料, 可以编纂完整的行星及月球历表(相对于某一历元的赤道及动力学分点), 这样的历表不需要任何光学资料。^{[21], [22]}在理论上, 可以利用这种历表来研究光学星表的零点改正及自行系统的误差等。

利用人造地球卫星观测确定星表零点具有许多优点,^[23]例如其运动周期很短等, 继Duma的一系列工作后, Zeinalov分析了利用人卫观测确定星表零点的精度,^[24]各未知量的中误差很小, 可以达到实际工作所需要的精度。

四、历史情况及工作进展

利用前人及其本人的观测, Bessel编纂了第一本可以作为基本参考系的“绝对星表”——*Tabulae Regiomontanae*,^[25]他在序言中第一次给出了岁差常数的精确计算结果。为了确定*Tabulae*的零点, Bessel在Königsberg天文台观测了太阳及36颗黄道带恒星, 在五年的时间内, 平均每颗星取得了50个观测, 并用这些资料定出了星表零点——Bessel分点。^[26]最近, Fricke比较了 α_{Bessel} 与 α_{FK4} , 发现Bessel分点与FK4分点符合极好^[27], 只是南天恒星存在系统误差, 这可能是由于Königsberg的高纬度引起的。

继Bessel之后, Newcomb分析了各个天文台的太阳观测资料^[28], 给出了Bessel分点改正, $E = \text{obs.} - \text{Bessel}$, 图1给出了Newcomb的结果, 最小二乘解为:

$$E = +0^{\circ}.016 - 0^{\circ}.009(T - 18.20)$$

亦即Bessel分点并不需要显著的改正。

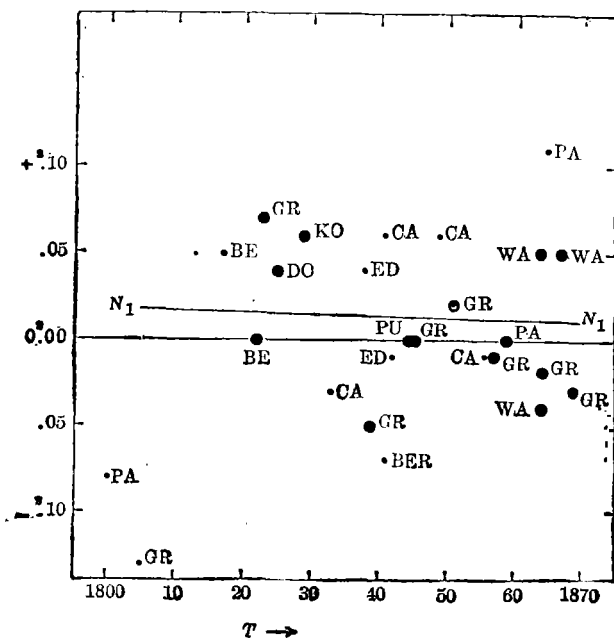


图1. 根据Maskelyne恒星的绝对赤经与Bessel赤经之差 $E = \text{obs.} - \text{Bessel}$,由最小二乘法确定的Newcomb分点 N_1 ,
注: BE(Bessel), BER(Berlin), CA(Cambridge), DO(Dorpat), ED(Edinburgh), GR(Greenwich), KO(Königsberg), PAL(Palermo), PA(Paris), PU(Pulkovo), WA(Washington)

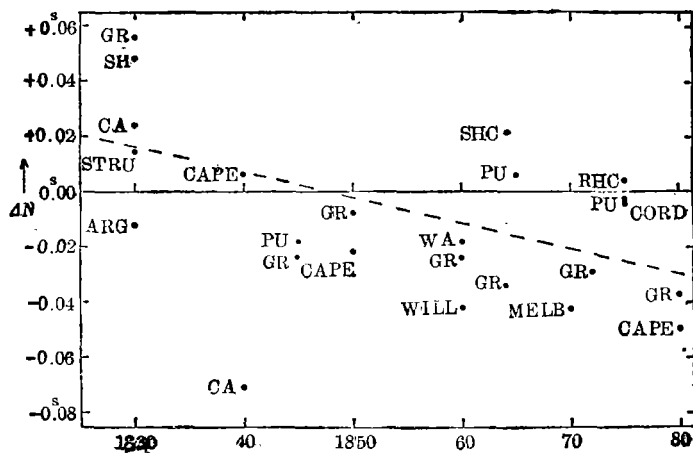


图2. 在Newcomb的基本星表FC中确定的Newcomb分点 N_1 的改正 $\Delta N = \text{Cat.} - N_1$
注: SH(St. Helena), STRU(Struve), ARG(Argelander), WILL(Williamstown), SHC(Sofford, H. C.), MELB(Melbourne), RHC(Rogers, H. C.), CORD(Cordobe).

Newcomb得到的分点即Newcomb分点 N_1 ,它是“1098颗标准测时恒星和黄道带恒星星表”^[29]及基本星表FC^[30]的赤经系统的零点。在FC中,Newcomb给出了1830—1880年间 N_1 赤经系统与各个星表比较的结果。图2给出了分点 N_1 的改正值 $\Delta N = \text{Cat.} - N_1$ 。这些结果对解释分点的非岁差运动起了很大的作用。根据图2的结果:

$$\Delta N = -0^{\circ}.003 \pm 0^{\circ}.005 - (0^{\circ}.093 \pm 0^{\circ}.028)(T - 18.50)$$

没有直接的证据能够说明为什么图2中 ΔN 与观测历元近似呈线性关系,而图1中, E 却近似为一常数,Newcomb也没有对 ΔN 的长期变化作出解释,后来,天文学家才试图解释这一现象。多数人认为,确定 E 时,所选用的定标星就是Bessel所用的36颗黄道带恒星,并且,四十多年中观测技术没有改变,所以 E 近似为一常数,而 ΔN 的长期变化可能是星等差及人差(仪器改进使得人差随观测历元减小)引起的。^[31-33]而Duma提出,由于太阳系天体的位置测定是相对于恒星确定的,恒星自行误差可能是分点非岁差运动的原因^[34]。最近,Balakirev提出^[35],黄道面绕位于其中的一条几乎与银黄交线一致的轴的真实旋转引起了 $\Delta N = \Delta e$,旋转周期为 3×10^8 年。可是,这种旋转没有理论根据。另外,Blackwell分析了1755—1973年间几乎所有的分点改正 ΔN ^[36],得到了一条顶点在1900.0稍后的抛物线,他没有解释造成这种现象的物理机制。但是,Fricke认为Blackwell的作法不合理。^{[37],[38]}直到现在,对分点的非岁差运动还没有作出完满的解释。

为了确定FK3的分点,Kahrstedt分析了好望角、普尔科沃、华盛顿等天文台1900年以后的观测资料^[39],得到了Newcomb分点 N_1 的改正值:

$$\Delta N = -0^{\circ}.050(1913.0 \text{ 历元})$$

这就是FK3分点,由于Kahrstedt所用的资料全部是用超人差测微器取得的,因此,FK3分点没有系统误差。Morgen得到了几乎相同的结果,他取 $\Delta N = -0^{\circ}.040(1930.0 \text{ 历元})$ 定义了N30分点。

FK4星表沿用了FK3分点,但这并不是因为Kahrstedt确定的FK3分点非常精确。Gliese计算了FK3赤经的改正^[39],由于当时根据太阳、月球、行星观测资料确定的分点结果极不一致,没有对FK3的赤经系统零点作任何改正,而沿用了FK3分点。

根据IAU的建议,在Fricke的领导下,FK4的改编工作——FK5在海德堡天文计算研究所进行。^[40]确定FK4(FK3)分点改正正是FK5的编纂工作的一个重要部分,对FK4分点的改正要使FK5分点在任一时刻都有可能接近动力学分点,

$$\alpha_{\text{FK4}} + E(t) = \alpha_{\text{dyn}}$$

并且要对FK4恒星自行加改正 Δe :

$$(\mu_{\alpha})_{\text{FK4}} + \Delta e = (\mu_{\alpha})_{\text{dyn}}$$

Δe 是 $E(t)$ 的导数,即:

$$E(t) = E(t_0) + \dot{E}(t - t_0)$$

原则上,可以先取得某一历元的分点改正 $E(t_0)$,再根据FK4自行计算 \dot{E} ,从而得到没有 Δe 项的FK5分点。

为了确定FK5分点,Fricke分析了1910—1970年间的35项分点改正工作^[41],得到如下四个结论:

(1) FK4恒星赤经需要加随观测历元变化的改正 E ,以得到从动力学分点起算的赤经:

$$\alpha_{\text{FK4}} + E(T) = \alpha_{\text{dyn}}$$

(2) FK4恒星自行系统需要加改正 Δe ,以消除分点运动效应,由FK4自行确定的岁差值,计算 Δe 为:

$$\Delta e = \Delta \mu_a = 1''.23 \pm 0''.16$$

(3) Van Flandern由1820—1970年间的月掩观测得到:

$$E(T) = 0''.52 + 0''.087(T - 19.60)$$

(4) 图3给出了1900年以后测定的分点改正结果。由最小二乘法可得FK4分点的改正:

$$E(T) = 0''.031 \pm 0''.003 + (0''.085 \pm 0''.010)(T - 19.60)$$

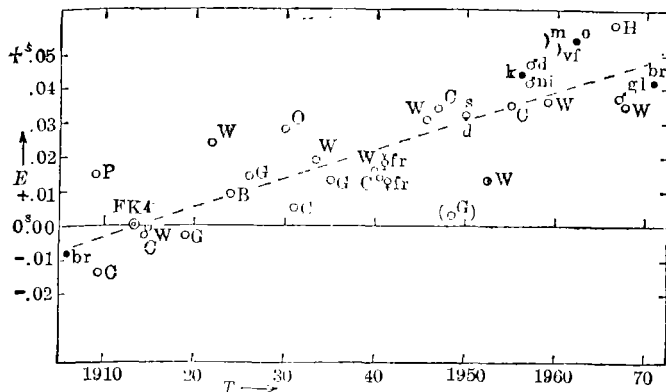


图3. 根据太阳系天体的观测资料确定的FK4分点改正, 由Kahrstedt测定的FK3分点记作 \odot , 与本世纪的结果符合很好.

P Pulkovo W Washington B Breslau C Cape G Greenwich
 H Herstmonc O Ottawa m Morrison s Standish vf Van Flandern
 fr Fricke φ φ k Kristensen
 δ (d Duma ge Glebova ni Niimi) ● (br Branham d Duma o Orelskaya)

考虑到分点改正的现代测定值要比1950年以前的测定值更可靠, 并且1950—1970年间又有许多测定值可供选用, Fricke只利用此期间的测定值确定分点改正, 得到:

$$E = 0''.042 \pm 0''.003 (1958.5 \text{ 历元})$$

长期项 \dot{E} 可用以下三种方法独立求出:

- (1) 由FK4自行资料, $\dot{E} = 0''.082$
- (2) 由月掩星观测资料, $\dot{E} = 0''.087$
- (3) 由35次分点改正测定值, $\dot{E} = 0''.085$

三者的结果符合极好, Fricke采用其平均值, 于是:

$$E(T) = 0''.035 \pm 0''.003 + (0''.085 \pm 0''.010)(T - 19.50)$$

这就是Fricke确定的FK5分点。

利用激光测距资料, Standish确定了FK4分点改正, 并与Fricke的结果作了比较(表1),^[42] 两者符合很好。

可是, Duma重新讨论了Fricke的结果,^{[34], [43]} 发现Fricke得到的FK4分点改正偏大, 而且不存在分点运动 \dot{E} 。因此, 他指出不宜采用 Fricke的结果建立FK5。Seidelmann等分析了行星历表与观测资料间的系统差, FK4~FK5分点改正并不能消除火星及水星残差的长期趋势, 但他们没有利用这些资料解算分点改正, 而企图寻找引起这种偏差的其他因素^[44]。Stumpff

表 1

参量	Fricke	DE110	DE118
岁差	1".1	~1".1	~1".1
\bar{E}	1".275	1".792	1".275
E	0".525	0".587	0".531
$e(-23^{\circ}26'44")$	0".836	0".816	0".816

等认为,在岁差常数、分点运动或Newcomb的太阳平黄经中,其中有一个量存在 $1".0$ /百年的误差^[45]。

Fricke在确定FK5分点的工作中,没有利用小行星照相观测的结果。自从1935年Brouwer和Numerov分别提出小行星照相观测纲要后,许多天文台取得了许多底片,尽管没有达到预期的精度,但小行星观测对确定分点改正有重大意义。Pierce分析耶鲁天文台对Brouwer纲要15颗小行星的6904次观测,给出了“耶鲁区域星表”和GC星表的系统改正^{[46], [14]}。

$$E_{GC} = 0^s.021 \quad D_{GC} = 0".167 \quad (1950.0 \text{ 历元})$$

由于这个结果的数据太大,因此,Pierce认为整个纲要及其结果不太令人满意,并称上述结果是一“粗估”。但是,Fricke^[47]利用Brosch等给出的系统差FK4-GC,

$$\begin{aligned} a_{FK4} &= a_{GC} - 0^s.01 \\ \delta_{FK4} &= \delta_{GC} + 0".13 \end{aligned}$$

再根据Pierce原来的结果得

$$E = 0^s.03 \quad D = 0".04$$

这些值与FK5分点及赤道符合极好,因此,Fricke高度评价了Pierce的工作。

另外,Orelskaya^[48]及Koroleva等^[49]分析了32个台站1949—1974年间的30000次观测,将这些观测通过AGK3等星表归算到FK4系统,得到:

$$E = 0^s.052 \quad D = 0".00 \quad (1962.0 \text{ 历元})$$

Kristensen根据小行星(51)Nemansa的2200次观测^[50],给出:

$$E = 0^s.042 \quad D = 0".03 \quad (1956.0 \text{ 历元})$$

这些结果都与FK5分点符合极好,它们对分点改正的确定很有意义。最近,Branham用模拟计算结果证实了单用小行星观测确定分点与赤道的可行性^[51]。随着CCD技术的使用^[52]及新的观测方法如交叉点观测等的进一步完善,小行星观测将在分点确定工作中起到更大的作用。

五、相对论效应

在地球附近,相对论效应的量级为:^{[53], [54]}

光行差	10^{-4}
多普勒效应	10^{-4}
时间膨胀	10^{-8}
尺度收缩	10^{-8}

托马斯旋转	10^{-8}
近日点进动	10^{-8}
光线偏转	10^{-8}
周期摄动	10^{-8}

随着观测技术的发展和观测精度的提高, 相对论效应已成为当前天体测量工作中必须考虑的因素^[55]。现今, 时间尺度的定义, 行星运动学方程都是在相对论框架下给出的。在光学资料的处理中已开始考虑光线偏转效应, 在激光测距雷达测距和VLBI等新技术资料的处理中, 几乎引入了所有已知的相对论效应。^[56]

目前, 建立基本参考系的工作在牛顿力学中尚有许多困难,^[57]所以还很少有人考虑相对论效应^[58]。通过分析1983年小行星(51)Nemansa掩食双鱼座(14)恒星(14 Piscium)的观测资料, Kristensen比较了相对论效应(光线偏转)与基本星表的区域误差^[59], 证实了相对论效应($\pm 0''.003$)远小于星表的区域误差($\pm 0''.010$), 因此, Hughes等讨论光线偏转对确定分点的影响时得到的零结果^[60]应是预料之中的。

月球、行星、特别是内行星的观测资料是具有探测相对论效应潜力的^{[61],[62]}。在所有测定分点改正的工作中, 都是以经典的轨道微分改进方程作为误差方程的。可是, 相对论效应对内行星轨道的改进是显著的。Akim等分析了火星、水星和金星的观测资料^[63], 考虑相对论效应运动方程的中误差分别为0.5km, 2km, 1km, 而在牛顿力学中, 最大残差达390km, 8km, 12km。因此, 考虑行星轨道的相对论效应可望能改进分点改正的结果, 但目前尚没有人做过这方面的工作。

六、空间望远镜中的小行星观测计划

即将投入观测的 Hipparcos 天体测量卫星, 将在二年半的时间内测定100000颗恒星的位置、视差及自行。位置和视差的精度为 $\pm 0''.002$, 自行精度为 $0''.002$ /百年, 区域误差只有 10^{-4} 角秒。可是, 只用Hipparcos观测资料, 位置系统中尚有一任意旋转 R , 自行系统中有一正比于时间的旋转 $R'(t-t_0)$ 不能确定^[64-66]。

小行星观测是确定Hipparcos系统旋转的方法之一, Hipparcos卫星将观测40颗小行星。根据Söderhjelm等的模拟结果, 如果Hipparcos卫星对25颗小行星每年观测20次, 在二年半的时间内, 将以2.5mas的精度确定定义黄道面的各参量, Hipparcos系统绕黄道面内旋转轴的旋转角速度分量的精度为1mas, 绕垂直于黄道面旋轴的角速度分量的精度为4mas^{[67],[68]}。

Kovalesky指出, Hipparcos的观测时间太短, 不能精确确定小行星的轨道根数。^[69]正如Söderhjelm等人的模拟计算所表明的, 如果观测周期延长到三年, 各个参数的中误差将减25%。因此, Kovalesky建议利用相对于Hipparcos恒星的其他观测, 如Hemenway等提出的观测计划^[69]来确定旋转矩阵 R, R' 。

利用交叉点观测, 单次观测精度好于 $\pm 0''.02$, Hemenway等介绍了利用地面先进仪器及近期内的空间技术观测34颗小行星以建立动力学参考系的十五年计划^[18]。这些小行星将由交叉点观测联系到同一系统中, 如此建立的动力学参考系是确定星表零点及Hipparcos系统旋转

的一种独立方法。该计划分初始阶段、观测阶段及处理分析阶段等三个阶段。初始阶段正在进行,所需的设备已装配成功,软件系统业已建立,并有许多天文台参加这一计划。

海德堡天文计算研究所的Hans Scholl博士初步计算了1986—2001年间34颗小行星的历表,给出了6400个交叉点的观测历表。Hipparcos卫星和美国哈勃空间望远镜(HST)将观测交叉点附近20角分范围内的近8000颗SAO恒星,以 $0''.002$ 的精度确定交叉点的参数。

作为美国空间望远镜天体测量小组的成员,Duncomb和Hemenway 将把他们的大部分观测时间用于观测Hipparcos恒星附近的交叉点,与同时进行的地面观测比较,可以得到最终解并且把观测统一在一个坐标系内。

该计划的最终目的是通过十五年观测确定FK5系统的运动常数,并为Hipparcos系统提供独立的动力学参考系。

七、结 束 语

如果观测的天体局限于银河系内部,基本参考系与研究恒星运动是无法分离的,由于太阳系天体和恒星运动理论不完善,并且受制于观测精度,恒星并不是建立基本参考系的理想天体。

早在十八世纪,赫歇尔、拉普拉斯等已经注意到,河外星系离我们十分遥远,几乎没有自行($\leq 2 \times 10^{-5}/\text{yr}$),非常适宜用于建立惯性参考系。从三十年代起,苏联和美国的天文学家开始利用河外星系作为固定点建立基本参考系,虽然取得了一定进展,但由此建立全天均匀的基本参考系却遇到了许多难以克服的困难,例如隐带及河外星系的视面等。

现在已经有许多高精度的射电源表,如Faneslow等编纂的JPL射电源表^[71],Argue等编辑的一本包括234个致密河外射电源表^[72]等。这些表的源位平均误差为 $\pm 0''.01$ ^[73]。连接光学星表与河外射电源具有十分广阔的前景,已成为当前天体测量工作中的迫切任务之一。

致谢:本文是在金文敬老师的指导和帮助下写成的;须同祺老师阅读了本文初稿,并提出了宝贵意见,在此向他们表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Duma, D. P., 天文进展, 2 (1982), 23.
- [2] Newcomb, S., A Compendium of Spherical Astronomy, (1906).
- [3] Федоров, Е. П., *Астрометрия и Астрофизика*, 24 (1974), 3.
- [4] Duma, D. P., *ibid*, 31 (1977), 23.
- [5] 夏一飞, 许邦信, 张承志, 陕西天文台台刊, 7 (1984), 1.
- [6] Brouwer, D. and Clemence, G., in *Method of Celestial Mechanics*, (1961).
- [7] Duma, D. P., Kizjun, L. H., and Safronov, V. L. in *Reference Coordinate System for Earth Dynamics* 329, (1981).
- [8] 严豪健等, 上海天文台台刊, 7 (1986), X.
- [9] Dyson, F., *Trans. IAU*, 3 (1928), 227.
- [10] 张承志, 夏一飞, 天体测量学, 高等教育出版社, (1986).
- [11] 波多别德, 涅斯捷罗夫, 普通天体测量学, 南大天文系译.
- [12] Duncombe, R. L. and Hemenway, P. D., *Cele. Mech.* 26 (1982), 207.
- [13] Jackson, E. S., *Astron. Pap. of AEAN*, XX (1968), 1.

- [11] Pierce, D. A., *Astron. J.*, **72** (1971), 177.
- [15] Branham, R. L., *Astron. J.*, **83** (1978), 675.
- [16] Fricke, W., *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **10** (1972), 101.
- [17] Hemenway, P. D. and Duncombe, R. L., *IAU Proceedings*, **86** (1982) 277.
- [18] Duncombe, R. L. and Hemenway, P. D., *Cele. Mech.*, **34** (1984), 19.
- [19] Morrison, L. V., *MNRAS*, **187** (1979), 41.
- [20] Martin, C. F. and Van Flandern, T. C. *Science*, **168** (1970), 246.
- [21] Standish, E. M., *Astron. Astrophys.*, **114** (1982), 297.
- [22] Chapronto, T. M. and Chapronto, J., *Astron. Astrophys.*, **124** (1983), 50.
- [23] Duma, D. P., in *Modern Problems of Positional Astrometry*, **242**, (1975).
- [24] Zeinalov, R. A., *Sov. Astron.*, **29** (1985), 470.
- [25] Bessel, F. W., *Tabulae Regiomontanae*, (1830).
- [26] Bessel, F. W., *Astron. Beob. Königsberg*, Part X, (1825), 10.
- [27] Fricke, W., *Astrrophys. Space Sci.*, **110** (1985), 11.
- [28] Newcomb, S., *Washington Observations for 1870*, App. III, (1872).
- [29] Newcomb, S., *Astron. Pap. Washington*, **1** (1882), Part 4.
- [30] Newcomb, S., *ibid*, **8** (1899), Part 2.
- [31] Fricke, W., *Cele. Mech.*, **36** (1985), 207.
- [32] Morgan, H. R., *Constants Fondamentales de l'Astronomie*, **XXV** (1950), 37.
- [33] Kahrstedt, A., *Astron. Nachr.*, **244** (1931), 32.
- [34] Duma, D. P., *A. Zh.*, **59** (1982), 1012.
- [35] Balakirav, A. N., *Astron. Tsirk. Ak. Namk. Moskva*, (1980), No. 1100, 4.
- [36] Blackwell, K. C., *MNRAS*, **180** (1977), 65p.
- [37] Fricke, W., *Cele. Mech.*, **22** (1982), 113.
- [38] Fricke, W., *Mitt. Astron. Gesellschaft*, No. **48** (1980), 29.
- [39] Gleise, W., *Vero. Heidelberg*, **12** (1963).
- [40] Schwan, W., *Highlights of Astron.*, **8** (1986), 69.
- [41] Fricke, W., *Astron. Astrophys.*, **107** (1982), L13.
- [42] Standish, E. M., *Cele. Mech.*, **37** (1985), 239.
- [43] 施广成, 鲁春林, 尉叔玲, 紫金山天文台台刊(副刊), (1984), 49.
- [44] Seidelmann, P. K., Santoro, E. J. and Pulkinen, K. F., *IAU Symp. No. 114*; p. 99, (1986).
- [45] Stumpff, P. and Lieske, J. H., *Astron. Astrophys.*, **130** (1984), 211.
- [46] Pierce, D. A., *Astron. Pap. Am. Ephem.*, **22** (1978), Part 3.
- [47] Fricke, W., *Astron. J.*, **87** (1982), 1338.
- [48] Oreiskaya, V. I., *Mitt. Astron. Gesellschaft*, No. 48, (1980), 43.
- [49] Koroleva, L. S. and Oreiskaya, V. I., *IAU Proceedings*, **96** (1982), 449.
- [50] Kristensen, L. K., *Mitt. Astron. Gesellschaft*, No. 48, (1980), 50.
- [51] Branham, R. L., *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, **10** (1985), 349.
- [52] 许水, 学位论文, 云南天文台, (1987).
- [53] Fukushima, T., *IAU Symp.*, No. 114, p. 99. (1986).
- [54] Fukushima, T., Fujimoto, M. K., Kinoshita, H., and Aoki, S., *Highlights of Astron.*; **7** (1986), 113.
- [55] 童付, 天文进展, **2**(1982), 21.
- [56] Seidelmann, P. K., *Cele. Mech.*, **37** (1985), 199.
- [57] Kovalevsky, J., in *On Reference for Earth Dynamics*, 123, 1975.
- [58] Brumberg, V. A., *IAU Symp.*, No. 114, p. 5, (1986).
- [59] Kristensen, L. K., *ibid*, p. 113. (1986).
- [60] Hughes, J. A., Scott, D. K., and Smith, C. A., *ibid*, p. 205. (1986).
- [61] Krasinsky, C. A. et al., *ibid*, p. 315, (1986).
- [62] 秦荣先, 阎永廉, 广义相对论与引力理论的实验检验, 上海教育科学出版社, (1987).
- [63] Akim, E. L. et al., *IAU Symp.*, No. 114, p. 63. (1986).

- [64] Kovalesky, J., *IAU Proceedings*, 86 (1981), 77.
[65] Kovalesky, J., *Space Sci. Rev.*, 39 (1984), 1.
[66] Kovalesky, J., *Highlights of Aitron.*, 7 (1986), 85.
[67] Söderhjelm, S. and Lindegren, L., in *Proceedings of an International Colloquium on Scientific Aspects of Hipparcos Mission*, 191, (1982).
[68] Söderhjelm, S., and Lindegren, L., *Astron. Astrophys.*, 110 (1982), 156.
[69] Kovalesky, J., *Cele. Mech.*, 26 (1982), 213.
[70] Hemenway, P. D., *Cele. Mech.*, 22 (1980), 89.
[71] Fanselow, J. L. et al., *Astron. J.*, 89 (1984), 987.
[72] Argue, A. N. et al., *Astron. Astrophys.*, 130 (1984), 191.
[73] Bouchen, C., in *Earth Rotation: Solved and Unsolved Problems*, 1, (1986).

(责任编辑 林一梅)

Determinations of the Zero Points of Star Catalogues

Wei Xue

(Shanghai Observatory, Academia Sinica)

A brief review on the determinations of the zero points of star catalogues is presented.