

# 高精度射电—光学参考系的进展

王叔和 须同祺

(中国科学院上海天文台)

## 提 要

本文综述了河外射电源射电参考系, 基于河外射电源的光学参考系, 空间天体测量以及参考系之间联系的进展。

## 一、引 言

随着技术的进步, 一些新型的仪器设备如甚长基线干涉测量(VLBI), 激光测卫(SLR)等的产生, 使观测精度提高到毫角秒量级, 这就要求作为参考的参考系亦要有相应的精度。例如参考系有 $0''.001$ 的不确定, 可使400公里基线有1厘米的误差, 这也差不多是一年中板块运动的量级大小, 在文[1]中, 还列出参考系误差对天文学研究影响的其他例子。因此, 参考系问题成为天文学家的重要研究课题之一。

目前通用的天球参考系是基本星表, 例如现在的FK5, 是根据太阳系动力学和恒星运动学理论, 通过观测恒星来实现的。Fricke<sup>[2]</sup>曾指出, 由于恒星的自行及由于我们现在还没有足够清楚地了解一些双星或聚星的子星的相对运动, 使得恒星参考系不可能是一个最好的参考系。正如赫歇尔和拉普拉斯所说, 只有以河外星系为参考时, 才能建立比较理想的天球参考系。

近些年来, 建立和研究以河外射电源为目标的参考系工作, 有了很大发展。原因有两方面: (1)观测精度的提高, 特别是射电天体测量精度的提高, 从70年代末到80年代初的几十毫角秒, 提高到目前的1毫角秒, 甚至更高; (2)空间天体测量观测正式开始, 未来的空间天体测量星表需要转换到以河外射电源为参考的参考系上去。

## 二、河外射电源的射电参考系

射电天体测量方法产生后, 使我们能直接对河外射电源进行位置的精确测定。国际上, 美国, 德国, 日本, 瑞典, 原苏联和中国等都在进行或计划进行。至今已发表了不少射电源的射电观测源表<sup>[3-15]</sup>。表1所列为近期精度较高的几个。

表中最后两个是综合射电源表。他们的精度是根据文[13]和[14]由我们计算所得, 值得

表 1 射电源射电观测源表的精度

作者/源表名	源 数	$\sigma_\alpha \cos \delta$ (mas)	$\sigma_\delta$ (mas)	$\delta$ 范 围	文 献
Fanselow, J. L. et al.	117	3.6	3.8	-45°—+71°	[7]
Ma, C. et al.	82	1.2	2.8	-12°—+85°	[8]
Robertson	26	0.4	0.6	-6°—+74°	[11]
JPL 1986-2	120	1.6	1.9		[48]
Sovers	106	1.3	1.6	-45°—+85°	[12]
Ma, C. et al.	182	1.0	1.0	-30°—+85°	[15]
Arias, E. F. et al.	228	2.0	5.0	-80°—+85°	[13]
Feissel, M. et al.	396	4.8	2.4	-83°—+85°	[14]

注意的是在文[13]中, 射电源的  $\sigma_\alpha \cos \delta$  的最大值为  $0''.11351$ , 最小值为  $0''.00011$ ,  $\sigma_\delta$  的最大值为  $0''.15222$ , 最小值为  $0''.00016$ 。在文[14]中,  $\sigma_\alpha \cos \delta$  的最大值为  $0''.83750$ , 最小值为  $0''.00001$ ,  $\sigma_\delta$  的最大值为  $0''.05070$ , 最小值为  $0''.00007$ 。最大值与最小值之间相差甚大, 所以影响到其综合射电源表的精度。

表 1 中最后两个是综合源表。RSC(IERS)90 C 01 是由 GSFC, JPL, NGC, USNO 四个观测源表综合而成, 其中包括 51 个主要源(四个源表共同的源), 40 个次级源(部分源表的共同源), 和只在单个源表出现的源 137 个。赤纬范围从  $-80^\circ$ — $+85^\circ$ 。在所有这些源中, 113 个源的精度好于  $0''.001$ , 104 个源的精度在  $0''.001$ — $0''.003$  之间, 余下 11 个精度大于  $0''.003$ 。这个综合源表系统所定义的赤经方向, 与 FK5 春分点位置相符, 与 JPL 行星历表 DE200/LE200 的春分点符合在  $0''.02$  以内; 极 OZ 方向指向由 IAU 的岁差和章动定义的 J2000.0 的平极方向定义, 但考虑到 IAU 岁差和章动的误差, 分别在黄经  $\times \sin \epsilon$  和交角上作了  $0''.01$  和  $0''.001$  的移动<sup>[18]</sup>。RSC(IERS)91 C 01 是 IERS 的另一个综合源表, 它由 GSFC 91 R 04 和 JPL 91 R 01 两个观测源表综合而成。赤纬范围从  $-83^\circ$ — $+85^\circ$  与 RSC(IERS)90 C 01 一样, 所有源被分成三类: 57 个主要源, 其平均精度为  $0.3 \text{ mas}$ , 122 个次级源, 平均精度为  $2.4 \text{ mas}$ , 217 个补编源, 平均精度为  $2.2 \text{ mas}$ 。

关于射电源表的综合, 现有两种方式。一种是各观测源表的共同源相对于平均系统的系统差  $\Delta C_{ij}$  的加权和为零, 即  $\sum_i W_{ij} \Delta C_{ij} = 0$  的条件下, 由最小二乘法求得共同源在平均系统中的综合值, 这里  $i$  为  $i$  个观测源表,  $j$  为第  $j$  个共同源,  $W_{ij}$  为其权重<sup>[48, 50]</sup>。另一种也是利用共同源, 设第  $i$  个源表相对于综合源表的转角为  $A_1(i)$ ,  $A_2(i)$ ,  $A_3(i)$ ,  $\alpha_{ij}$  和  $\delta_{ij}$  为第  $j$  个共同源在第  $i$  观测源表中的值,  $\alpha_{jc}$  和  $\delta_{jc}$  为第  $j$  个源在综合源表中的值, 则由方程

$$A_1(i) \operatorname{tg} \delta_{ij} \cos \alpha_{ij} + A_2(i) \operatorname{tg} \delta_{ij} \sin \alpha_{ij} - A_3(i) + \alpha_{jc} = \alpha_{ij} \\ - A_1(i) \sin \alpha_{ij} + A_2(i) \cos \alpha_{ij} + \delta_{jc} = \delta_{ij} \quad (1)$$

用加权最小二乘法可得到共同源在综合系统中的综合值。

表 2 中给出 Arias 等人用上述第二种方法得到的综合源表 RSC(IERS)91 C 01 和参加综合的两个个别源表, 另外 6 个未参加综合的源表, 以及 RSC(IERS)91 C 01 系统之间的转换关系, 其中的  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  分别为参考系在三个坐标方向上的系统之间的转角<sup>[14]</sup>。  $r_\alpha$  和  $r_\delta$

表 2 综合源表和其他源表之间的系统转换关系

单位:  $0''.001$ 

源 表 名	N	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$r_\alpha$	$r_\delta$
RSC(GSFC) 91 R 04	57	$+1.18 \pm 0.04$	$+2.40 \pm 0.03$	$-0.28 \pm 0.03$	0.22	0.19
RSC(JPL) 91 R 01	57	$+0.11 \pm 0.06$	$-0.35 \pm 0.06$	$-0.08 \pm 0.04$	0.37	0.49
RSC(GSFC) 91 R 01	57	$+1.17 \pm 0.04$	$+2.41 \pm 0.04$	$-0.29 \pm 0.03$	0.23	0.25
RSC(GSFC) 91 R 02	57	$+1.15 \pm 0.04$	$+2.41 \pm 0.03$	$-0.30 \pm 0.03$	0.23	0.23
RSC(GSFC) 91 R 03	56	$+1.14 \pm 0.06$	$+2.34 \pm 0.05$	$-0.22 \pm 0.04$	0.30	0.36
RSC(NAOMZ) 91 R 01	40	$-1.92 \pm 0.05$	$+1.02 \pm 0.05$	$+0.28 \pm 0.55$	0.37	0.33
RSC(NGS) 91 R 01	45	$+1.27 \pm 0.06$	$+1.35 \pm 0.05$	$-0.22 \pm 0.04$	0.23	0.36
RSC(USNO) 91 R 02	48	$+0.87 \pm 0.09$	$+0.54 \pm 0.08$	$-0.26 \pm 0.06$	0.35	0.69
RSC(IERS) 90 C 01	57	$+0.03 \pm 0.05$	$+0.06 \pm 0.04$	$0.00 \pm 0.04$	0.33	0.82

分别是在  $\alpha \cos \delta$  和  $\delta$  方向上的均方根差。

表 2 表明, RSC(IERS) 91 C 01 和 RSC(IERS) 90 C 01 两参考系的相符好于  $0''.001$ 。Walter<sup>[49]</sup>曾根据 Fanselow, Ma, Robertson 和 Carter 等的射电源表, 用前述第一种方法编制了包括 210 个河外射电源的综合源表。这是一个独立于 IERS 的综合射电源表, 其中基本组有 50 个源, 平均位置精度在赤经和赤纬方向上分别为  $0''.0003$  和  $0''.0005$ <sup>[48,49]</sup>。将他和 RSC(IERS) 91 C 01 之间进行了比较, 对其中基本组的 50 个源, 得到他们之间的系统差平均在赤经和赤纬上分别为  $0''.00012$  和  $0''.00001$ 。这表明两种不同方法之间差异较小, 同时也说明 RSC(IERS) 91 C 01 是一个较好的综合射电源表。由表 2 结果亦表明, 同一系统间有相同关系如 GSFC 系统, 而不同系统间, 则不一样。另外通过源表间共同源位置的比较, 亦表明相互间存在系统差。系统差的部分来源是岁差常数和章动系列误差<sup>[17,18]</sup>, 以及源表本身的系统差。在精密定位中, 对射电源结构本身的研究也是一个很重要方面, 尽管参考系工作中所选的源, 都力求其结构比较单一, 但还是有些源具有复杂的结构, 且这些结构随时间而有微小变化, 这些变化往往是毫角秒量级, 和位置测定精度同数量级。Cotton<sup>[19]</sup>, Charlot<sup>[20]</sup> 和其他一些人的研究都表明, 在精确的天体测量和大地测量观测中, 应该考虑源结构改正的影响。图 1 为 Charlot<sup>[20]</sup> 给出射电源 3C273 在 8.4GHz 上源结构改正和观测延迟的关系。Sovers<sup>[17]</sup>认为在考虑到源结构、动态对流层变化等影响后, 观测精度可减小到 0.1mas 水平。

为了建立精确的射电参考系, 1984 年 Argue 等人给出了一个 233 个河外射电源表<sup>[21]</sup>, 以供射电和光学两方面观测。这些源的位置是根据当时几个射电源表综合而成, 天体的射电辐射都较强, 平均射电流量(5GHz)为 1.7Jy。但光学亮度一般在 17—19 mag, 只有少数亮于 17 mag 的。为了加密射电参考系, Johnston 等人<sup>[22,23]</sup>提出 400 个射电源的计划, 其中 65% 为类星体, 10% 为 BL Lac 型天体, 10% 为致密河外星系。对这些天体不仅可用射电

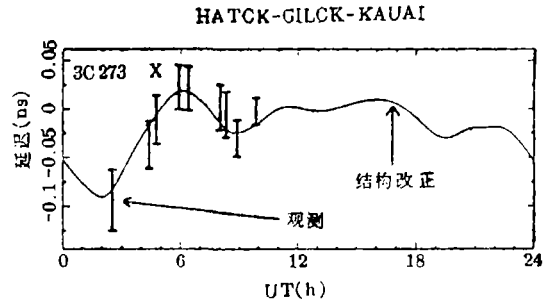


图 1 用 HATCK, GILCK 和 KAUAI 三个台的观测, 在 8.4GHz 上 3C273 源的结构改正和观测延迟<sup>[20]</sup>

观测, 还可用大的光学望远镜照相, CCD 测量源结构等。计划 1993 年结束, 第一部分结果已经给出<sup>[16]</sup>, 其赤经零点由 28 个类星体在 FK5 系统中的位置决定, 精度为 20mas, 不久还将给出 325 个源的结果, 平均精度好于 1mas。

如上所述可以看出, 射电天体测量已打破以往只在少数几条基线上进行观测的状况, 发展构成全球性地面 VLBI 网观测。至今, 尽管单个射电源表很多, 但共同源并不多, 这给相互比较带来一定困难。现在正在向增加共同源, 并对影响观测精度的微小误差的来源如源结构的变化等方面, 进行深入研究。

### 三、基于河外射电源的光学参考系

70 年代后期, 提出了用射电星和射电源的射电和光学资料, 研究参考系建立和相互联系的概念。1978 年在奥地利维也纳召开的 IAU 第 48 次讨论会上(“现代天体测量”), 在 IAU 第 24 委员会(照相天体测量)支持下, 成立了射电—光学天体测量源鉴别工作组。该组的 Argue 等人<sup>[21]</sup>为射电和光学两方面精确定位, 给出了一个综合射电源表。一般来说, 射电源的光学亮度较暗, 要对这些天体进行观测, 只能用较大口径的光学望远镜。法、美、英、德、阿根廷和中国<sup>[15, 24-26]</sup>等国, 先后用各种光学望远镜, 进行了射电源光学对应体的光学位置的精确测定。目前已经发表了十多个这种基于河外射电源的光学观测源表, 已对大约 110 多个射电源光学对应体的光学位置作了精确的测定。表 3 中给出了这些观测源表的概况。所用参考星表分别为 Perth 70, AGK3, FK4 和 FK5。使用基本星表 FK4 和 FK5 作为参考星表后, 观测源表的内部精度明显地比用其他参考星表要好一倍以上。这些源表中的射电源基本上是从 Argue<sup>[21]</sup>的射电源表中挑选出来的, 并适于各自望远镜的观测, 但相互间的共同源较少。

表 3 射电源光学对应体光学位置观测源表

文献	出版年份	坐标系统	观 测	参考星表	源数	内符精度
[24]	1980	B1950.0	1965, 1967	Perth70	24	0".3
[25]	1981	B1950.0		Perth70	39	0".2
[26]	1986	B1950.0	1951—1956 1975—1977	Perth70	50	0".19 0".21
[27]	1981	B1950.0	1972—1979	Perth70	22	0".17
[28]	1984	B1950.0 J2000.0	1980—1982	AGK3 Perth70	23	0".12
[29]	1989	B1950.0 J2000.0		Brorfelde 子午星表	21	0".12
[30]	1991	J2000.0	1985—1988	FK5	8	0".05
[31]	1983	B1950.0	1979—1980	FK4	10	0".05
[32]	1991	B1950.0	19世纪末 20世纪初 1980—1985	AGK3	4	
[33]	1978	B1950.0		AGK3R FK4	17	0".1
[34]	1990	J2000.0		AGK3	3	0".10 0".12
[35]	1971	B1950.0	1966—1967	FK4	16	0".20 0".15
[36]	1989	B1950.0	1986—1987	AGK3	11	0".12
[16]	1990	J2000.0		FK5	28	

另外, Kumkova 等人<sup>[37]</sup>提出一个光学—射电参考系的联系的 CONFOR 观测计划。计划对 Argue 等人<sup>[21]</sup>给出的源表中约 200 个射电源的光学对应体在 FK5 系统中作观测处理。分别用子午环对这些源附近的参考星进行定位观测, 再用 Tajik 天体物理所的 1 米光学望远镜和 Tautenburg 的施密特望远镜等进行照相定位。由此可见, 基本星表 FK5 在基于河外射电源的光学参考系的建立中, 将发挥出它的应有作用。

在光学观测方面, 另有一些观测计划除直接用于射电—光学参考系的联系外, 同时是为了用以检验将来空间天体测量的结果为目的的。波茨坦<sup>[38]</sup>自 1961 年起用施密特望远镜对选定的一些河外星系附近的星进行照相定位, 求得这些星的绝对自行, 并和依巴谷卫星测定的自行比较, 用来测定依巴谷卫星星表的残余转动。Bonn<sup>[39]</sup>计划是一个较小的计划, 用一些河外源的新老照相观测, 得到这些源的虚假“自行”。这自行实际上是反映源附近的区域性效应, 由此亦可决定依巴谷星表的残余转动。对于现用的星表系统, 同样可决定星表的系统转动, 这实际上是岁差误差的反映<sup>[40,41]</sup>。

在射电—光学参考系的联系中, 除河外射电源外, 对射电星的射电、光学观测亦是一个重要的方面。射电星是河内射电源, 由于它的光学亮度一般都比河外射电源亮, 有些本身就是基本星, 所以光学观测比较方便, 无须借助次级参考星表, 避免了星表的转换误差。目前除在空间天体测量观测中有专门的射电星观测计划(见第五节)外, 不少地面天文台亦在进行这类观测, 例如中、法、德、美、智利等国利用子午仪、天体照相机对射电星进行观测。但射电星的射电流量一般较弱, 都在几 mJy 到几十 mJy, 只有少数的射电流量稍强些, 因此目前一般用 VLA 进行射电观测, 待 VLBA 工作后, 将会加快观测进程, 同时精度上也会有较大的提高。在射电星观测中, 同样有射电星结构的问题。在图 2 中所示为 Clauzet 等人<sup>[51]</sup>所给出的  $\alpha$ Sco-A 的光学和 VLA 观测位置的关系图。

#### 四、空间天体测量进展

欧洲空间局(ESA)于 1989 年 8 月 8 日成功地发射了依巴谷(Hipparcos)天体测量卫星。至今依巴谷卫星已经运行了 30 多个月。从观测资料的初步分析得到位置、视差和自行精度分别为 3、4 和 7mas<sup>[42]</sup>。这一结果是自依巴谷卫星运行, 1989 年 11 月底正式开始观测以来的 20 个月的观测资料所得。由此结果, 进一步作了估计, 期望卫星运行到 1992 年底, 可以获得 2mas 的目标精度<sup>[42]</sup>。另外, 依巴谷卫星资料分析中心之一的空间技术基本天文学(FAST)小组, 处理了依巴谷卫星观测的头 6 个月的观测资料。处理中为了与球面标准相吻合, 首先必须对依巴谷卫星的输入星表的位置进行改正。图 3 中的直方图显示了依巴谷卫星输入星表的星位改正精度的结果<sup>[43]</sup>, 大部分恒星星位改正精度在 2—4mas 之间。这一结果实际上受到以下几个因素的影响: 仅仅用了早期 6 个月中的部分观测资料; 未考虑恒星的自行、视差以及是否是双星; 全天球的覆盖也不是均匀的。如果进一步考虑这些因素的影响, 则结果将会更理想。

现在已经着手考虑第二个依巴谷天体测量卫星计划<sup>[44]</sup>。他是由丹麦哥本哈根大学天文台的霍格(E.Høg)教授为首提出的, 并且该计划是依巴谷科学小组与原苏联普尔科沃天文台

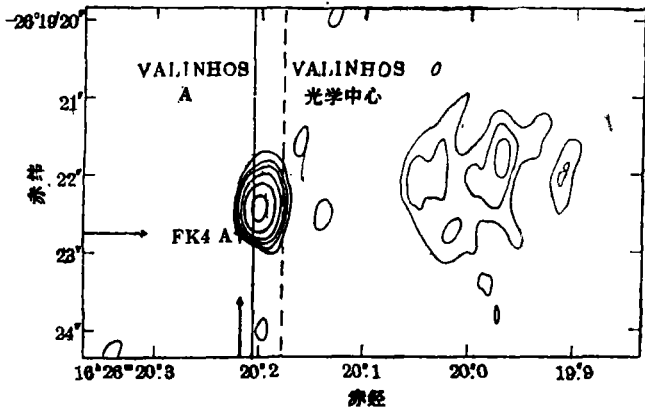


图 2  $\alpha$ Sco-A 的光学和 VLA 观测位置示意图<sup>[51]</sup>

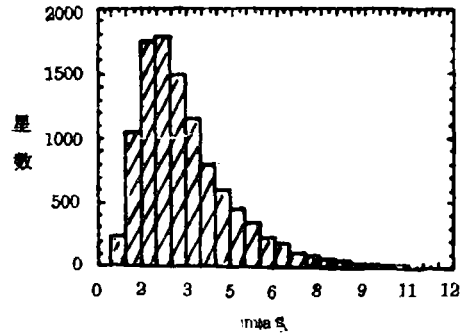


图 3 依巴谷卫星输入星表的位置改正精度与星数之间的关系

之间讨论后提出来的。第二个依巴谷卫星的科学任务是与第一个依巴谷卫星的科学任务相类似的。计划在 10 年之后，即在 21 世纪初发射第二个依巴谷卫星。第二个依巴谷卫星的新任务之一是对第谷的 40 万颗恒星的位置、视差和自行作出进一步的改进，精度从原来的  $0''.04$  提高到  $0''.001$ 。新任务之二是由第一个和第二个依巴谷卫星所得恒星位置，使第一个依巴谷卫星所得的 12 万颗恒星的自行精度达到  $0''.0002/\text{yr}$ ，这一结果比第一个依巴谷卫星所得的精度提高 10 倍。新任务之三，对 200 万颗恒星进行 4 色 ( $B, V, U, R$ ) 观测。

哈勃空间望远镜 (HST) 已于 1990 年 4 月 24 日发射上天，它的总科学任务的 15% 是天体测量观测。其中 HST 要观测 97 个河外星系以及 173 颗依巴谷星，即对河外星系及其附近的 1—2 颗恒星同时进行观测，其位置精度比地面观测结果高 1—2 个量级，使星等延伸至 20 mag。它可以使依巴谷卫星星表系统与河外星系直接联系起来。

原苏联提出的三个空间天体测量计划中，其中最为引人注目是罗蒙诺索夫 (Lomonosov) 计划，该计划是有原苏联应用天文所提出来的。罗蒙诺索夫计划与依巴谷计划有类似的观测原理，但是它们之间的记录与处理方式不同，这样就可以发现两种方法之间的系统差 (如果存在的话)，可以提高空间计划所得结果的可靠性。计划预期在 1996 年出版第一部包含有 40 万颗星的罗蒙诺索夫星表，这将给出现代最好的一个天球参考系。

另一个空间天体测量计划是 AUCT，它是有原苏联的普尔科沃天文台提出的，该计划很可能与第二个依巴谷卫星计划合并起来，即以它代替第二个依巴谷卫星<sup>[44]</sup>。

除此之外，另一些值得注意的动向是，空间 VLBI 计划，计划的科学任务之一主要是应用于射电—光学参考系的连接。正在筹备之中的空间 VLBI 计划有日本的 VSOP 计划<sup>[45]</sup>，它预计在 1995 年发射。另一个是原苏联的 RADIOASTRO 计划，它预期在 1994 年发射一个 10 米天线上天，进行空间 VLBI 观测<sup>[46]</sup>。

表 4 中列出空间天体测量计划的一些概况。

## 五、结 束 语

对河外射电源参考系和恒星参考系的严格比较和联系，须要三个方面的要求<sup>[2]</sup>：(1) 同

一目标的光学和射电位置; (2)两者有可比较的精度; (3)有足够数量的共同源。由上面可看到, 现在的射电观测源表之间的共同源数量并不很多, 而相应的光学对应体位置更少。依巴谷卫星观测是相对观测, 不能直接观测河外射电源的光学对应体, 因而需要将观测连接到 FK5 基本星表系统或河外射电源参考系。Lestrade 在文[47]中也指出, 依巴谷卫星所得结果是相对于任意参考面的坐标定义的, 并没有联系到作为地面测量的任何基本面上去; 另外, 这个参考系相对于银河系有每年约 7mas 的转动, 所以它不能作为行星或恒星动力学研究的惯性参考系。因而依巴谷卫星的观测也必须要和射电源参考系相联系。

表 4 空间天体测量概况

	单 位	主要观测对象	精 度	星 等	星 数	注
Hipparcos	ESA	恒星	0".002	9—13mag	12 0000	1989.8.8上天
Tycho	ESA	恒星	0".04		40 0000	
MKA	原苏联空间研究所					
Lomonosov	原苏联应用天文所	恒星, 小行星	0".003	<14mag	40 0000	
AUCT	原苏联普尔科沃天文台			<14mag	40万—100万	
Radio astro	原苏联					1994年发射一个10米天线
VSOP	日本					1995年发射
HST	美国NASA	河外天体, 依巴谷星		<20mag		1990.4.24上天
第二个Hipparcos		恒星			200万	

为了进行依巴谷星表和射电参考系之间的联系, 在观测计划中包括了两个联系观测计划: 在依巴谷卫星输入星表中包括 277 颗射电星, 利用对这些射电星的光学和射电观测进行联系; 另一个是将依巴谷卫星和 HST 的观测结合起来, 利用 HST 观测 97 个河外源以及 173 颗依巴谷星, 通过对河外源及其附近 1—2 颗恒星同时观测, 将依巴谷星表直接联系到河外源参考系上去。由于现在不少工作尚未完成, 所以还很难说联系河外源参考系的精度是多少。

但通过各种技术和方法取得资料, 互相比对是完全需要的。就目前来说, 以下的资料完全可用作联系的考虑。

- (1) 如 Lick, Pulkov 等天文台用照相方法求得的绝对自行;
- (2) 空间望远镜所得的自行;
- (3) VLBI 得到的高精度的一些射电星位置及自行;
- (4) VLA 或其他精度较低的射电星位置及自行;
- (5) 对射电源光学对应体的光学观测结果。

对具体的射电或光学测量系统, 要使它在参考系上作出实际贡献, 除了测量精度外, 还要有高分辨率、灵敏度和稳定性。另外现在在很多情况下常采用联合观测, 综合处理, 这样可以削减各自仪器或区域性带来的误差。我们至今有了多种类型的仪器设备, 如何发挥在国际的联合工作中的作用, 是应该考虑的问题。

## 参 考 文 献

- [1] 须同祺, 李正心, 天文学进展, 5 (1987), 241.
- [2] Fricke, W., Veröffentlichungen ARI Heidelberg, No. 31 (1985).
- [3] Clark, T. A. and Hutton, L. K. et al., *A. J.*, 81 (1976), 599.
- [4] Wade, C. M. and Johnston, K. J., *A. J.*, 82 (1977), 791.
- [5] Perley, R. A., *A. J.*, 87 (1982), 859.
- [6] Kaplan, G. H., Josties, F. J., Angerhofer, P. E., Johnston, K. J. and Spencer, J. H., *A. J.*, 87 (1982), 570.
- [7] Fanselow, J. L., Sovers, O. J., Thomas, J. B., Purcell, Jr. G. H., Cohen, E. J., Rogstad, D. H., Skjerve, L. J. and Spitzmesser, D. J., *A. J.*, 89 (1984), 987.
- [8] Ma, C. and Clark, T. A. et al., *A. J.*, 92 (1986), 1020.
- [9] Campbell, J., Carter, W., Kawajiri, N., Rönnäng, B. and Ye, S., IRIS Bulletin A, No. 21, (1985), 14
- [10] Walter, H. G., *Astron. Astrophys.*, 89 (1980), 89.
- [11] Robertson, D. S., Fallon, F. W. and Carter, W. E., *A. J.*, 91 (1986), 1456.
- [12] Sovers, O. J., Edwards, C. D., Jacobs, C. S., Lanyi, G. E. and Treuhart, R. N., BIH Annual Report, (1988), D-17.
- [13] Arias, E. F. and Feissel, M., IERS Annual Report, (1989), II-11.
- [14] Arias, E. F. and Feissel, M., IERS Annual Report, (1990), II-19.
- [15] Ma, C., Shaffer, D. B., de Vegt, C., Johnston, K. J. and Russell, J. L., *A. J.*, 99 (1990), 1284.
- [16] Arias, E. F. and Feissel, M., in IAU Colloquium No 127, p. 198, (1991).
- [17] Sovers, O. J., in IAU Colloquium No. 127, p. 130, (1991).
- [18] Walter, H. G., in IAU Colloquium No. 127, p. 376, (1991).
- [19] Cotton, W. D., NASA Conference Publication, (1979), 2115.
- [20] Charlot, P., Journées Systèmes de Référence Spatio-Temporels, p. 57, (1988).
- [21] Argue, A. N. et al., *Astron. Astrophys.*, 130 (1984), 191.
- [22] Johnston, K. J., Russell, J. L., de Vegt, C., Hughes, J., Jauncey, D., White, G., Nicolson, G., in IAU Symposium No. 129, p. 317, (1988).
- [23] Johnston, K. J. and Russell, J. L. et al., in IAU Colloquium No. 127, p. 123, (1991).
- [24] Walter, H. G. and West, R. M., *Astron. Astrophys.*, 86 (1980), 1.
- [25] West, R. M. and Walter, H. G., *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 46 (1981), 277.
- [26] Walter, H. G. and West, R. M., *Astron. Astrophys.*, 156 (1986), 1.
- [27] Wroblewski, H., Costa, E. and Torres, C., *Astron. Astrophys.*, 93 (1981), 245.
- [28] Torres, C., Wroblewski, H. and Costa, E., *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 58 (1984), 193.
- [29] Geffert, M., Tucholke, H. -J., Walter, H. G., Moreno, M. A., Ivanova, V. and Sinachopoulos, D., *Astron. Astrophys.*, 224 (1989), 323.
- [30] Russell, J. L., Johnston, K. J., Ma, C., Shaffer, D. and de Vegt, C., *A. J.*, 101 (1991), 2266.
- [31] Harrington, R. S., Douglass, G. G., Kallarakal, V. V., Smith, C. A., and Guetter, H. H., *A. J.*, 88 (1983), 1376.
- [32] Brosche, P., Ducourant, C., Galas, R., Geffert, M. and Karafistan, A., *Astron. Astrophys.*, 245 (1991), 669.
- [33] de Vegt, C. and Gehlich, U. K., *Astron. Astrophys.*, 67 (1978), 67.
- [34] 须同祺, 陆佩珍, 王叔和, 储宗元, 天文学报, 31 (1990), 267.
- [35] Murray, C. A., Tucker, R. H., Clements, E. D., Royal Observatory Bulletins, No. 162, (1971), 215.
- [36] Dick, W. R. and Kumkova, I. I., in IAU Symposium No. 141, p. 453, (1990).
- [37] Kumkova, I. I., Tel'njuk-Adamchuk, V. V., Bashtova, L. I., Dick, W. R., Inasaridse, R. Ya. and Irkaev, B. N., in IAU Colloquium No. 127, p. 120, (1991).
- [38] Dick, W. R. et al., *Astron. Nachr.*, 308 (1987), 211.
- [39] Brosche, P. and Geffert, M., The Scientific Aspects of the Hipparcos Input Catalogue Preparation II, (1988), 475.
- [40] 储宗元, 须同祺, 陆佩珍, 王叔和, 上海天文台年刊, (1989), No. 10, 92.
- [41] 王叔和, 须同祺, 陆佩珍, 天文学报, 31 (1990), 161.
- [42] Perryman, M., 21 th IAU General Assembly, Hipparcos Joint Discussion (1990).
- [43] Kovalevsky, J., ESA Astronews, No. 16, (1991), 4.



- [44] Høg, E. and Chubey, M. S., 21th IAU General Assembly, Hipparcos Joint Discussion (1990).  
[45] Morimoto, M. et al., NRO Report 183, (1990).  
[46] Kardashev, N. S. and Slysh, V. I. in IAU Symposium No. 129, p. 433, (1988).  
[47] Lestrade, J. F. et al., The Second F. A. S. T. Thinkshop, (1985), 87.  
[48] Walter, H. G., *Astron. Astrophys.*, 210 (1989), 455.  
[49] Walter, H. G., *Astron. Astrophys., Suppl. Ser.* 79 (1989), 283.  
[50] 王叔和, 须同祺, 陆佩珍, 上海天文台年刊, (1988), No. 9, 128.  
[51] Clauzet, L. B., Débarbat, S., Chollet, F., *Astron. Astrophys.*, 167 (1986), 387.

(责任编辑 刘金铭)

## Progress in High Precise Radio-optical Reference Systems

Wang Shuhe    Xu Tongqi  
(Shanghai Observatory, Academia Sinica)

### Abstract

In this paper, the progress of the radio reference systems of extragalactic radio sources and the optical reference systems of its optical counterparts, the present situations of the space astrometry and the linking problems between the reference systems are discussed.