

FK5星表的现状和基本星表的未来

李东明 李正兴

(中国科学院紫金山天文台)

提 要

分析了FK5中不同来源的恒星在平均历元上的全球精度,给出了在不同历元上位置和自行的误差。对不包含在FK5星表内的FK4Sup.星,本文也给出了同样的资料,并讨论了基本天球参考系将来的发展。

一、关于FK5星表编制的一般情况

迄今为止,天文学中采用的天球参考系都是根据太阳系动力学和恒星运动学理论建立起来的,并通过具体的星表来体现。其中提供最精确的星位坐标,作为研究宇宙中天体的位置和运动之基础的星表称为基本星表。例如国际上1963年正式采用的天球参考架是FK4星表。该星表是建立在Newcomb总岁差表达式基础上,利用均匀分布在全天球、亮于7.5星等的1535颗恒星的平位置和自行来定义的^[1]。

FK4星表的平均历元,赤经系统是1935年,赤纬系统是1925年,在它们的平均观测历元,上述恒星位置的平均误差(除南天极区其数值较大外)是:

$$\epsilon_{\alpha} \cos \delta = \pm 0''.06 \quad \epsilon_{\delta} = \pm 0''.05$$

这些恒星的赤经自行和赤纬自行分量的平均误差分别是:

$$\epsilon_{\mu} \cos \delta = \pm 2.4 \text{mas/年} \quad \epsilon_{\mu'} = \pm 1.8 \text{mas/年}$$

随着观测历元的推移,由于自行误差,由星表基本数据算出的恒星位置的精度将会逐渐降低。不同历元的FK4星表的星位误差,自行误差见表1。

为了适应当代天文学的发展,西德海德堡天文研究所根据国际天文联合会第十五届大会的决议,从1974年就开始着手改进FK4星表,编制FK5星表的工作。这一工作包括如下的任务^[4,5]:

- 1) 改进总岁差表达式;
- 2) 推导赤经零点和赤纬起算平面(春分点和赤道面)的改正值;
- 3) 消除FK4星表的区域性误差;
- 4) 确定每颗FK4星的位置和自行的个别改正;
- 5) 选入FK4补编亮星和IRS暗星作为新的基本星。

表 1 FK4 星表的均方差

天区	北半球 ($\delta > -10^\circ$)	南半球 ($\delta \leq -10^\circ$)	全天
星数	902	633	1535
$m_\alpha \cos \delta$	1.7	3.5	2.4
m_δ' ($0''.001/\text{年}$)	1.3	2.5	1.8
$m_\alpha \cos \delta$			
1935	4	8	6
1950	6	12	9
1975	9	19	13
2000 ($0''.01$)	13	27	19
m_δ			
1925	4	6	5
1950	6	11	8
1675	9	16	12
2000 ($0''.01$)	12	22	16

上述第 1、2 项工作早已完成, 这两项工作的结果可参阅文献[2,4]或[6]。为了完成第 3 项至第 5 项工作, FK5 星表的编制者研究了 1900 年以来, 25 个国家约 60 个天文台站完成的 270 部星表。这些星表是用子午仪器、垂直环和等高仪的观测得到的, 包含近 70 万个恒星位置, 3.5 百万次观测^[4]。在此 270 部星表中约有 85 部为绝对或准绝对星表, 用来决定(FK5-FK4)的系统改正。因在这 85 部星表中有的只是赤经星表或赤纬星表, 所以参与决定 FK5 赤经系统的有 70 部; 参与决定 FK5 赤纬系统的有 50 部。其中 25 部绝对或准绝对赤经星表, 15 部绝对或准绝对赤纬星表是在 FK4 星表完成后发表的^[2,5]。这些星表包括三部等高仪综合星表: 法国 CGA 星表(历元 1965.5, 1158

星), 中国 GC 星表(历元 1972.0, 606 星), 中国 GCPA 星表(历元 1978.8, 1579 星), 对于 FK5 系统的建立起了重要的作用^[2,10]。以星位精度高而著称的我国 CTC 星表同样对 FK5 星表的编制作出了历史的贡献^[2]。第 3、4 项工作实际上 1936 年底已完成^[12]。

二、FK5 星表的组成和初步的评价

1938 年 IAU 大会期间海德堡天文研究所正式公布了 FK5 星表中 2512 颗亮星的基本数据, 这些亮星包括原来的 1535 颗 FK4 星, 称为基础 FK5 星; 和 980 颗 FK4_{sup} 星, 属于 FK5 星表的亮星扩充部份。至于 FK5 星表向暗星方面的扩充, 此工作实际上由美国海军天文台承担。由于南天的部分暗星观测史贫乏, 还有待新的观测处理。所以, FK5 星表向暗星方面扩充的约 2100 颗恒星的基本数据至今仍未发表。

虽然目前要对 FK5 星表作全面、正式的评论还有困难, 但对其中的 2515 颗基本亮星和未选入 FK5 星表的 1007 颗 FK4_{sup} 星的天体测量参数的特性作初步的评述不仅是可能的, 而且很有必要。因为包括天文学在内许多应用部门都需要尽早知道有关的信息。此外对 2100 颗左右的基本暗星的情况, 根据文献[7], 我们也能作出一般性的介绍。

表 2 给出了基本亮星的主要天体测量参数的特性。从表 2 可以得到: 基础 FK5 星的自行平均误差为 $\pm 0.7 \text{mas}/\text{年}$ 。亮星扩充部分, 980 颗来自 FK4_{sup} 的恒星的自行平均误差为 $\pm 1.7 \text{mas}/\text{年}$ 。FK5 星表中的所有亮星的自行平均误差为 $\pm 1 \text{mas}/\text{年}$ 。此数值比 1963 年发表的 FK4 星表的自行误差要小一倍。至 1990 年, 基础 FK5 星的赤经分量和赤纬分量的位置平均误差分别为 $\pm 0''.03$ 及 $\pm 0''.04$; 而所有 FK5 亮星相应的平均数值分别为 $\pm 0''.04$

表 2 FK5 星表亮星及 FK4_{sup} 星的均方差

(单位同表 1)

	FK4 星		FK4 _{sup} 星		左列 FK5 亮星	未入选的 FK4 _{sup} 星	
	$\delta > -10^\circ$	$\delta \leq -10^\circ$	$\delta > -10^\circ$	$\delta \leq -10^\circ$		$\delta > -10^\circ$	$\delta \leq -10^\circ$
星 数	902	633	605	375	2515	573	434
$m_\mu \cos \delta$	0.5	0.9	1.2	2.0	1.0	1.9	3.2
m_μ^t	0.6	1.0	1.7	2.1	2.1	2.4	3.3
* $m_\alpha \cos \delta$	1.3	2.2	2.6	3.8	2.2	2.9	4.4
* m_δ	1.8	2.9	3.9	4.6	3.0	4.6	5.4
$m_\alpha \cos \delta$							
1975	1.6	2.7	3.6	5.0	2.9	3.9	5.3
1990	2.2	3.7	5.1	7.3	4.0	6.2	9.0
2000	2.7	4.4	6.2	9.1	4.9	7.9	11.9
m_δ							
1975	2.6	4.0	5.9	6.7	4.4	6.4	7.1
1990	3.3	5.1	7.9	9.2	5.7	9.3	11.0
2000	3.7	5.9	9.4	11.0	6.7	11.4	14.0
平均星等	4.74		5.86			5 ^m .96	
*平均观测历元	α 1954.6	δ 1944.4	α 1954.5	δ 1957.5		α 1960.0	δ 1964.2

和 $\pm 0''.06$ 。

在表 2 中还给出了未选入 FK5 星表的另外 1007 颗 FK4_{sup} 星的自行和位置数据的精度。这一千颗恒星的位置和自行已严格归算到 FK5 系统。它们的赤经方向自行误差和赤纬方向自行误差的平均值分别为 $\pm 2.5 \text{mas/年}$ 和 $\pm 2.8 \text{mas/年}$, 接近 1963 年出版的 FK4 星表的自行精度。此千余颗星的位置精度, 1990 年的赤经分量和赤纬分量的误差分别为 $\pm 0''.07$ 和 $\pm 0''.10$, 大体上相当于 60 年代的 FK4 星表的平均精度。因此如果工作需要的话, 这些恒星也可当作基本星来使用。对于北半天球 ($\delta > -10^\circ$), 具有这种高精度的位置的亮星总数已达 2075 颗。在 1990 年, 此 2075 个恒星位置的平均误差赤经方向分量为 $\pm 0''.04$, 赤纬方向分量为 $\pm 0''.06$ 。

从表 1 和表 2 的比较可以看出: 赤经分量测定精度的提高较赤纬分量测定更为明显。这是因为自 60 年代以来, 光电测微器技术在子午仪器上的应用越来越广泛。星过时刻的光电记录方法的观测精度较目视方法(包括引入了“无人差测微器”的情况)有明显的改进。而作为赤纬测定误差的一些来源, 如度盘分划、镜筒弯曲等误差的改善并不十分明显。此外, 能够测定赤经的仪器(包括不带精密度盘的大、小中星仪)数目又多于测定赤纬的仪器, 因而出现了这些情况。

表 2 所列数据是某类恒星的平均结果, 实际上可能有较大的偏离。如个别恒星的赤经、赤纬方向的自行误差有可能达到表 2 所列数据的一倍。在平均观测历元方面, 情况更是如此。如基础 FK5 星, 赤经的平均观测历元最早的是 1935 年, 最晚的是 1969 年; 在赤纬方面, 最早的是 1927 年, 最晚的是 1968 年等。

FK5 星表的暗星扩充部分的基本位置和自行数据虽未正式发表, 但这些选自 IRS 的 2100

颗左右的基本暗星的星号,除了个别 SRS 星最后可能要作某些调整外,可以说已经确定。根据文献[7],我们可以得知这部份基本星有如表 3 所示的特征。

表 3 FK5 星表的暗星扩充部分的主要特征

星等	<6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0	9.0-9.5
星数%	0.7	8.5	21.0	22.9	21.7	18.7	6.6%
光谱型	B&O	A	F	G	K	M及其他晚型星	
星数%	6.4	19.6	18.5	19.2	31.6	4.8%	

表 3 中基本暗星的星等分布数据不是很确切的,因为 IRS 中的暗星的星等值可能有较大的误差。经过扩充后的 FK5 星表的星等分布见图 1。由图 1 可见,FK5 星在 5^m 至 9^m 之间的分布是相当均匀的。由于这些扩充,基本星在天空中的密度为原来 FK4 星表的三倍;并且与照相天体测量工作中通常所用的参考星的星等差距缩小了约两个星等。避免了和二级或三级参考系比较时需要作 4 至 5 个星等的外插,减少了产生“星等差”的可能性;为射电/光学参考架的连接提供了更好的条件。

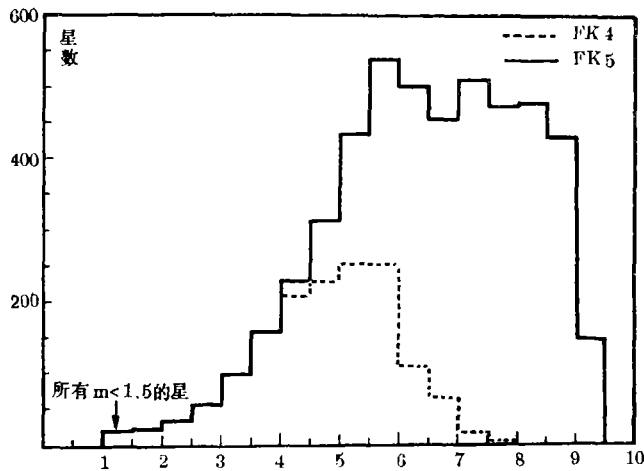


图 1 FK4 和 FK5 恒星的星等分布

基本星的光谱型分布对天文底片归算模型中颜色项的决定、天气折射研究等各种应用同样是重要的。基本暗星光谱型分布的一个不足之处是具有特殊天体物理意义的 O 型星和 B 型星的数目太少。这是由于许多 O 型星和 B 型星缺乏天体测量观测史及 IRS 中南天部分恒星的光谱型分布很不均匀造成的。如 $\delta < -30^\circ$, 65% 的 IRS 星都是 K 型或 M 型星, 仅 5.6% 是 O、B 或 A 型星^[7]。尽管如此, Corbin 在选星时仍然尽力做到每十度赤纬带区内早型(O、B 及 A)星、中型(F 及 G)星、晚型(K 及 M)星近似地相等。

作为参考比较,我们在表 5、表 6 中分别给出 FK4 和 FK4_{sup} 星的星等和光谱型分布。

综上所述,FK5 星表较它的前身 FK4 星表,无论在精度和星数方面均有显著的改进。但它的内部精度是不均匀的。这不仅表现在基本暗星的误差明显地大于基础 FK5 星,甚至

表 5 FK4 及 FK4_{sup} 星的星等分布

<i>m</i>	<3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5
FK4+	130	99	161	243	368	554	769	682	388	115	12	1
FK4 _{sup}	3.7%	2.8	4.6	6.9	10.4	15.7	21.8	19.4	11.0	3.3	0.3	0.0
FK4 _{sup}		3	34	139	300	514	572	322	97	6		
		0.2%	1.7	7.0	15.1	25.9	28.8	16.2	4.9	0.3		

表 6 FK4 及 FK4_{sup} 星的光谱型分布

星 表	O&B	A	F	G	K	M
FK4	17%	23	15	10	31	5
FK4 _{sup}	13	24	14	11	34	4

大于 FK4_{sup} 星误差, 而且也突出表现在南天的基本系统的精度明显低于北天。这是因为对于赤纬 -30° 以南区域的观测史贫乏。例如, 对于 $\delta = -50^\circ$ 区域, 仅有 15 部星表参与决定 FK5 赤经系统, 12 部星表参与决定 FK5 赤纬系统^[5]。与此比较, 决定 FK5 星表 $\delta = 0^\circ$ 、 $\delta = 50^\circ$ 的赤经(赤纬)系统分别有 57(50)、45(40)部星表。Gliese^[11]甚至怀疑: 现有的南天观测资料是否允许编制赤纬 -40° 以南、精度可与北天系统相比较的位置和自行基本系统。La Palma 和 Bordeaux 的现代化子午环近年来的观测表明^[12], FK5 星表可能存在较明显的系统差。文献[10]认为: 射电参考系与 FK4 系统差的幅度可达 $\pm 0''.15$, 如这一结果今后能得到现代化子午环和等高仪射电星观测结果的证实, 就不能排除 FK5 星表存在 $0''.1$ 级的系统差。因为从文献[2]看来, 除赤纬 -70° 区域外, FK5-FK4 系统差的幅度只有 $\pm 0''.05$ 级。以上存在的问题有待于 90 年代中期的地面天体测量和空间天体测量的结果来解决。

三、未来的基本参考系

FK 系列星表就其本质来讲是动力学参考系。因为 FK 参考系的基本平面和春分点都是根据天体动力学所描述的太阳系天体的运动和位置而建立起来的。但当人们谋求建立精度更高的准惯性参考系时, 就会发现无论在理论上或实践上都存在着极大的困难。由于银河系内恒星的自行和可能存在双星和聚星的“摄动”现象, 人们也很难继续把恒星作为高精度的基本参考系的理想体现者。现在天文学家一致赞同未来的最佳基本参考系将以遥远的河外天体为基准来定义^[13]。虽然对于研究太阳系天体运动之类的问题看来仍然需要继续维持和改进现有的动力学参考系, 但动力学参考系不会再作为一级参考系了。

光干涉技术正在发展之中。空间干涉仪可以“绝对”测定天体位置, 并允许仪器长时间照准一个源以取得对暗星的观测, 这种技术的预期精度将只受到源结构的限制, 如达到 0.1 mas ^[14]。但要达到建立光学/红外的河外参考架这一目标需要长时间的努力。就近期现实情况而言, 只有在射电天体测量成就的基础上才可能将光学基本参考系建立在遥远的河外天体的位置基准上。因此当前建立基于河外天体的基本参考系的实际任务就是实现光学和射电参考架之间的连接或转换。完成这个任务的主要困难并不是在概念或理论方面(虽然需要研讨

的问题也很多), 而是在观测方面^[13]。

de Vegt 等人在讨论射电/光学参考架建立的论文中认为^[15]: 高精度的河外参考架应建立在均匀分布在全球的约 400 个河外射电源的精密位置的基础上。这些源的红移值应大于 0.8。它们的高分辨率射电和光学图像应显示出只有毫角秒级的致密核; 利用大望远镜主焦点照相, CCD 测量和未来的空间技术(如 HST 或专用的光干涉仪)可以精确测定其光学位置, 基于这一目标的射电源的观测正在进行中。虽然现有的高精度射电源星表还不包括 -45° 以南的源^[13], 但 de Vegt 预计到 1993 年可完成 400 源的测量。最后完成的星表的精度, 对北半球和南半球分别为 1mas 和 5mas。

射电星的射电天体测量对于射电/光学参考架的连接甚为重要, 此工作这几年来也取得了明显的进展。预期今年内总共可得到 48 颗射电星, 精度约 $0''.01$ 的位置, 但主要在北半球。1994 年利用 VLA 可得到赤纬 -30° 以北, 精度为 1mas 的 20 颗射电星的位置、自行和视差数值^[16]。

为了实现射电/光学参考架之间转换所必要的射电/光学天体的密度和分布, 主要依赖于光学参考架内部的均匀性。从理论上来说, 若有一部观测历元、观测精度与射电源星表相同的光学星表, 则只要加零点改正即可完成两者之间的转换了。人们寄予很大希望的 Hipparcos 卫星今年内即将发射, 如果这颗天测卫星能够圆满地完成其任务的话, Hipparcos 星表无疑可作为实现射电/光学参考架之间转换的理想光学星表。但这只是观测历元附近两波段参考架的校准。实际上需要不断地进行校准, 即需要继续改进光学参考架中的基本恒星相对河外射电参考架的自行系统来保持两者关系。只有这样才能在较理想的准惯性参考架中研究恒星和其他天体的动力学问题等等。

由于 Hipparcos 卫星的工作时间间隔(大约 2.5 年)短, Hipparcos 星表自行系统的个别误差(平均为 2mas/年)将明显地大于许多基本星的地面自行结果。为了充分发挥空间天体测量资料的潜力, 维持或扩大 Hipparcos 恒星参考系的应用时间范围(目前无第二次发射天体测量卫星的计划), 一些作者已在讨论如何将空间的成果和地面天体测量的历史资料结合在一起的问题。例如, 综合 Hipparcos 星表和地面基本星表和 AGK3R 星表结果可以得到比地面星表和空间星表精度高得多的自行结果, 如表 7 所示。

表 7 FK5 和 AGK3RN 星表与 Hipparcos 星表的综合自行结果

被综合的星表	历元	星数	ϵ_{mas}	ϵ_{μ} mas/年	$\epsilon_{\mu c}$ mas/年
基础 FK5	1950	1535	20	0.7	0.4
FK5 扩充亮星	1955	980	40	1.7	0.8
FK5 扩充暗星	1940	2100	70	3	1.1
AGK3RN	1943	20194	80	5	1.3

表中 ϵ 、 ϵ_{μ} 分别为地面星表平均历元的星位误差和自行误差, $\epsilon_{\mu c}$ 为综合空间和地面星表得到的自行精度。预计 Hipparcos 星表的平均观测历元 $T = 1990$, 星位和自行的平均精度分别为: $\epsilon_p = 2mas$, $\epsilon_{\mu} = 2mas/年$ (对 $m < 7$ 恒星分别为: $\epsilon_p = 1.2mas$, $\epsilon_{\mu} = 1.7mas/年$)。可见, 对基础 FK5 星, 综合结果较 Hipparcos 结果精度提高了 4 至 5 倍; 对 AGK3RN 星,

较 Hipparcos 结果精度提高了 1.5 倍。利用表 7 的结果, 我们计算 1940 年和 1900 年的星位, 对基础 FK5 星, 误差分别为 $0''.02$ 和 $0''.04$; 对 AGK3RN 星误差分别为 $0''.06$ 和 $0''.12$ 。而如只用 Hipparcos 卫星结果, 星位误差分别为 $0''.10$ 和 $0''.18$ 。因此这类工作值得作进一步探讨。

上述计算结果只是在假设已消去现有基本星表的系统误差时才是正确的。因此在今后五年或更长的时间加强地面星表(特别南半球)的工作具有重要意义。

地面天体测量中, 关于改进基本参考系, 连接基本参考系和射电河外参考系等工作目前正在努力展开。如美国海军天文台的北天极至南天极的大规模的十年计划不仅在认真执行, 而且内容更为充实。此项计划已经和地面上建立射电/光学参考架的一项联合计划^[15]紧密地结合起来。参加这项联合工作计划的有德国汉堡天文台, 美国的 NRL、USNO, 澳大利亚的 CSIRO 和南非的射电天文台。他们的目标是通过地面上现有的各种射电、光学技术观测, 得到河外源、射电星的射电/光学精密资料, 以百分之几角秒的精度研究全天球的光学和射电参考架之间的系统差。这项联合计划也考虑了 Hipparcos 星表与河外射电参考架的连接需要。

未来的基本参考系无疑将建立在河外天体的基准上, 其精度至少可以提高一个量级。今后十年的基本参考系工作必然对天文学及其相邻学科的发展产生深远的影响。但由于射电/光学参考系连接工作的复杂性, 作者还无法确切预计这一过程需要多少时间才能完成。到 90 年代中期, 人们可以汇总射电、空间和地面大量的结果进行比较。到那时, 这个问题大概可以了解得更清楚。我国对基本参考系的改进过去作过一定的历史贡献。目前也拟定了相应的工作计划。期望我国的射电/光学天体测量工作者能够对未来的基本参考系的建立作出较大的贡献。

本工作得到了国家自然科学基金的资助, 项目编号为 1860626, 特此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Fricke M., *Annual Review Astronomy and Astrophysic*, 10 (1972), 101.
- [2] Fricke M., *Celest. Mech.* 36 (1985), No. 3, 207.
- [3] Fricke M., et al., *Veroffentl Astron Rechen-Inst. Heidelberg*, (1988), Nr. 32.
- [4] Schwan H., in *IAU Symp. No. 109*, p. 63, (1986).
- [5] Schwan H., in *IAU Symp. No. 133*, p. 151, (1988).
- [6] 须同祺, *天文进展* 2 (1982), No. 4, p. 31.
- [7] Corbin T., *Celest. Mech.* 37 (1985), No. 3, 285.
- [8] Corbin T., in *IAU Symp. No. 109*, p. 75, (1986).
- [9] Wielen R., in *IAU Symp. No. 133*, p. 293, (1988).
- [10] Johnston K. L. et al., *Astron. J.*, 90 (1986), 2390.
- [11] Gliese W., in *IAU Symp. No. 133*, p. 95, (1988).
- [12] *Carlsberg Meridian Catalogue*, La Palma, No. 3, printed in Spain (1987).
- [13] Hughes, J. A., *Report of the Working Group on Reference Frames*, IAU XX General Assembly, Baltimore, (1988).
- [14] de Vegt Ch., in *IAU Symp. No. 128*, p. 25, (1987).
- [15] de Vegt Ch. et al., *Proceedings of a Colloquium on European Astrometry Satellite Hipparcos*, p. 469, (1988).
- [16] Argue, A. N., *idem*, p. 439, (1988).
- [17] Johnston, K. J., *idem*, p. 447, (1988).

(责任编辑 林一梅)

The Present Status of FK5 and the Future of the Fundamental Reference System

Li Dongming Li Zhengxing

(Purple Mountain Observatory, Academia Sinica)

Abstract

The global accuracies of stars with different sources in FK5 at the mean epoch are analysed. Errors of positions and proper motions at different epoches are presented. The same data for the FK4 sup stars not included in FK5 are also given in this paper. The future development of the fundamental celestial reference system is discussed.

作者来函照登：1989年7卷4期第321页倒数第5行：“……VLBI测光资料”应为“……BVRI测光资料”，特此更正。