

依巴谷星表和第谷星表的特征和意义

凌兆芬 萧耐园

(南京大学天文系 南京 210093)

摘 要

主要论述依巴谷星表和第谷星表的观测特征和天体测量特征：依巴谷卫星在短期内同时测定大量高精度的恒星位置、自行和视差等五个天体测量参数以及星等和色指数。依巴谷星表和第谷星表为建立高精度的光学参考系，为研究恒星的起源、演化、分布、质量、大小和光度等，为研究双星和聚星的分布和运动，为研究星系运动学和星系动力学提供了大量的高精度资料，具有重要的科学意义。

关键词 星表 — 天体测量 — 参考系

分类号：P114.42

1 前 言

依巴谷卫星由欧洲空间局于 1989 年 8 月发射升空^[1]，1993 年 8 月完成历史使命，观测寿命为 4 年。其中在 1989 年 11 月至 1993 年 3 月共 40 个月期间，卫星观测得到了高质量的科学资料。通过两个独立的数据处理中心 FAST(Fundamental Astronomy by Space Techniques)和 NDAC(Northern Data Analysis Consortium)认真处理仔细分析，最终的主要成果是依巴谷星表和第谷星表^[2]。

依巴谷星表的编制于 1996 年 8 月完成，1997 年 6 月正式发表^[3]。星表包括 118218 颗星。对于亮于 9 mag 的星，在历元 J 1991.25，其天体测量参数(位置、视差、年自行)的精度范围为 0.7~0.9 mas。星表以机器可读形式(光盘)体现，另有打印说明，共 17 卷。

第谷计划的目的是利用依巴谷空间天体测量卫星上的恒星测绘仪作星位测定和双色测光。恒星测绘仪是安装在依巴谷望远镜焦平面上的一组非周期性的狭缝，主要用途是观测位置已知的恒星来决定卫星的姿态。光线经过狭缝时被一双色镜面分为两路(其测光结果表示为 B_T 和 V_T)，并以两个相应的光电倍增管作光子计数。观测资料传输到第谷资料处理协会(Tycho Consortium)作分析处理而获得最后结果。

依巴谷星表中恒星的位置和自行以国际天球参考系 ICRS(International Celestial Reference System)作为参考系。它的主轴与 ICRS 偏离约为 ± 0.6 mas，它的自行与惯性参考系的符合水平在 ± 0.25 mas/yr 左右。在今后的较长的年代里，依巴谷星表作为光学波段内的星表将取

代 FK5 星表。第谷星表包含有一百万颗星，在 4 年的观测期间对每颗恒星在多个历元上，进行了双色和多色测光，积累了丰富的测光资料。因此，了解、研究和利用依巴谷星表、第谷星表的高精度科学资料，对从事天体测量、天体物理乃至天文学各个分支学科的研究是非常有意义的。

2 依巴谷星表的特征和结果

近十年中有关依巴谷卫星的性能和操作原理已有诸多论文详细阐述，这里仅陈述依巴谷星表的主要观测特征和天体测量特征：

(1) 依巴谷卫星是空间观测，从而不受大气折射的影响，也避免了仪器的重力弯曲和热扰动效应。

(2) 全天候观测。可以把整个天球上被观测恒星连接起来。

(3) 卫星的 58° 基准角^[4]将两个视场分开，在天空不同部分进行准同时一维观测；视差测量是绝对的。

(4) 卫星连续以黄道为基准进行扫描观测，可以得到最佳观测时间。使获得的星表有均匀的天空密度和一致的天体测量精度。

(5) 卫星在三年观测期间，对每颗恒星在不同历元进行多次观测，得到一个稠密的恒星位置质心坐标方向 (α , δ)、视差 (π) 和自行 ($\mu_\alpha \cos \delta$, μ_δ)，可有效地采用最小二乘法解算。在这同一处理过程中，不仅可以得到 5 个天体测量参数和它们的标准误差，同时也可以获得相关系数。

(6) 由于在几年观测期间，每颗恒星在不同历元进行了多次观测，可以得到精确的和相对于同一标准的测光资料，因而推算得到平均星等、亮度的变化幅度、周期和光度变化的类别等。

反映依巴谷星表主要观测特征的有关数据如下^[3]：

观测时期	1989.85~1993.21
星表历元	J1991.25
参考系	ICRS
与 ICRS 的符合精度	$\pm 0.6\text{mas}$
与惯性系偏离	$\pm 0.25\text{mas/yr}$
总星数	118218
用于天体测量星数	117955
用于测光星数	118204
天空平均恒星分布密度	$\approx 3 \text{ 颗}/(^{\circ})^2$
极限星等	$V \approx 12.4\text{mag}$
所有恒星均被观测的星等范围	$V = 7.3 \sim 9.0\text{mag}$
可能是双星或聚星的系统	23882
已有子星资料的系统	12195
已测定轨道的系统	235
天体测量双星	2910
被怀疑非单星	8542

依巴谷星表的天体测量特征表现在如下的数据中^[3]：

中间标准误差 σ_α (J1991.25) ¹	0.77 mas
中间标准误差 σ_δ (J1991.25) ¹	0.64 mas
中间标准误差 σ_π ¹	0.97 mas
中间标准误差 $\sigma_{\mu_\alpha \cos \delta}$ ¹	0.88 mas/yr
中间标准误差 σ_{μ_δ} ¹	0.74 mas/yr
其中 10% 好于 ²	0.47 ~ 0.66mas
最小误差 ²	0.27 ~ 0.38mas
距离相对精度好于 < 10% 的星数 ($\sigma_\pi/\pi < 0.1$)	20853
距离相对精度好于 < 20% 的星数 ($\sigma_\pi/\pi < 0.2$)	49399
外部误差 / 标准误差 ³	≈ 1.0 ~ 1.2
天体测量中的系统误差 ³	< 0.1 mas

注： 1. 宽带依巴谷星等 (H_p) ≤ 9 mag； 2. 对五个天体测量参数中的每一个参数而言；
 3. 由不同的研究估计的值。

归算时假定全部恒星相对于太阳系质心作匀速直线运动，这是一种标准的天体测量模型。在某一参考历元 T_0 ，地球上的恒星运动以下列五个“天体测量的”参数描述： (α, δ) 、周年视差 π (即距离 $(\sin \pi)^{-1}$ AU 或用 π^{-1} pc 表示)；自行分量 $\mu_{\alpha^*} = \mu_\alpha \cos \delta$ 和 μ_δ (以单位时间内的角度计量)。图 1 和图 2 显示了依巴谷星表的天体测量各参数的精度变化情况^[3]。

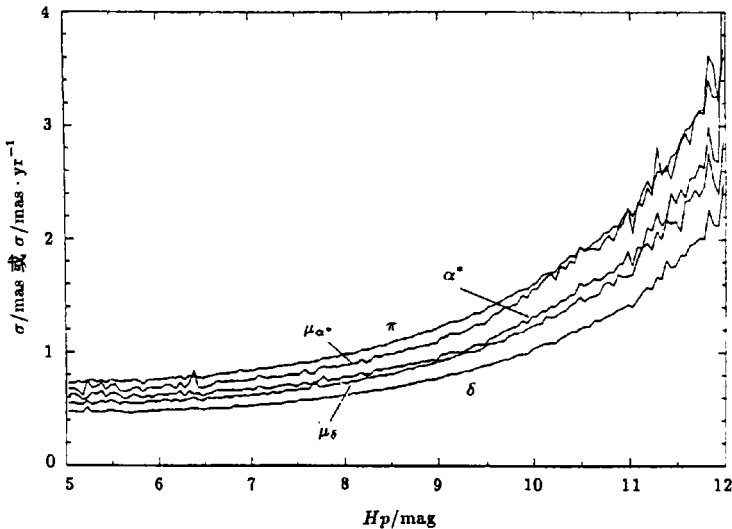


图 1 5 个天体测量参数精度示意图^[3]

横坐标为星等，纵坐标为标准误差

在依巴谷星表中除了上述表示天体测量特征的图示外，还给出许多作为位置和星等函数的天体测量和测光的详细图表和直方图，如图 3 给出的是作为星表的天体测量和测光质量图解说明。这是一个对于 20853 颗恒星的观测赫罗图以 $M(V)$ 和 $B-V$ 分别为纵坐标和横坐标的示意图。这些星的距离测定的相对精度好于 10%，并且有一个约束条件，即为 $\sigma_{B-V} < 0.025$ mag。这个图的一般特性在以前的文章中已有讨论^[5]。

依巴谷星表在 ESA · SP-1200(共 17 卷)中有详细说明。它不仅包括依巴谷星表，还有双星和聚星系统的附录、变星附录、暗星和在密集区域中天体的识别图解、周期性的和尚未确定

的变星的光变曲线、标明近距星、变星、大行星和聚星系统的全天星图。在 ESA · SP-1200 中还包括 6ASCI CD-ROMS 资料，它提供了依巴谷任务的所有成果、包括依巴谷星表发表以前阶段性的天体测量数据和历元测光表。

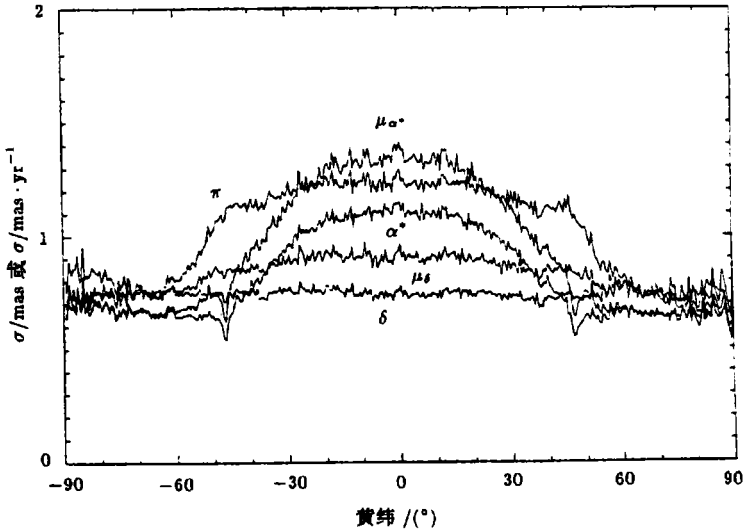


图 2 5 个天体测量参数精度示意图

横坐标为黄经、纵坐标为标准误差

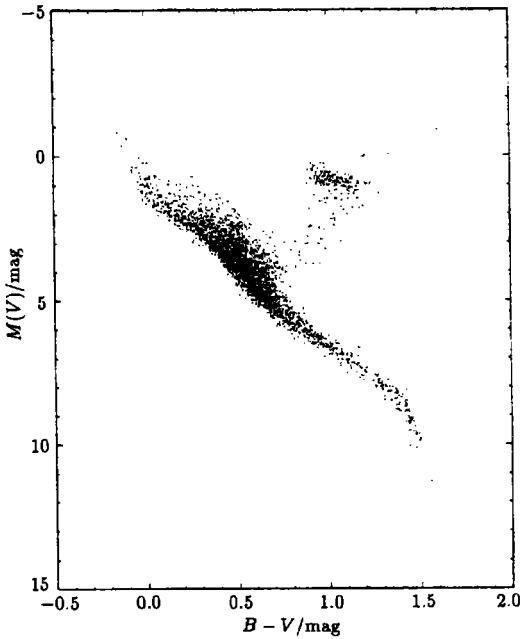


图 3 依巴谷卫星观测的赫罗图

3 第谷星表的特征和结果 [2]

第谷星表的观测是在依巴谷卫星上进行的，所以它的特性也体现了依巴谷星表的主要观测特性，具体说来除了体现后者的 (1)、(2) 和 (4) 点外还有：

(1) 在三年观测期间，每颗恒星经过多次以不同几何形状的扫描观测，而且与依巴谷观测同时进行，这就与由 10 万颗恒星所代表的依巴谷天体测量参考架有紧密的联系。质心坐标方向 (α, δ)、视差 (π) 和天体的自行 ($\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta$) 可用最小二乘法解算观测结果得到。在此过程中得出天体测量参数以及它们的标准误差和相关系数。

(2) 对每个天体作大量的观测，平均约 130 次，为每颗星提供了精确和均匀的光度资料，求出在两个波段 B_T 和 V_T 的平均星等。对亮度变化和双星也作了研究。

第谷星表主要观测特征数据如下：

观测时期	1989.8—1993.21	
星表历元	J1991.25	
参考系	ICRS	
与 ICRS 的符合精度	$\pm 0.6 \text{ mas}$	注：绕全部三个轴
与惯性系的偏离	$\pm 0.25 \text{ mas/yr}$	注：绕全部三个轴
观测星总数	1058332	
用于第谷资料的观测星数	1052031	
用于依巴谷资料的观测星数	6301	
天空的恒星分布密度	$\approx 25 \text{ 颗}/(^{\circ})^2$	注：与银纬有关
极限星等	$V \approx 11.5 \text{ mag}$	
依巴谷星表中被测量星达 90% 的星等	$V \approx 10.5 \text{ mag}$	
依巴谷星表中被测量星达 99.9% 的星等	$V \approx 10.0 \text{ mag}$	
总星数	$\approx 130 \times 10^6$	

第谷星表的天体测量特征数据如下：

标准误差 (对于 $V_T < 9 \text{ mag}$)	7 mas
标准误差 (对于 $V_T \approx 10.5 \text{ mag}$)	25 mas
最小误差	3 mas
外部误差 / 标准误差	1.0 ~ 1.5
天体测量中的系统误差	$\approx 1 \text{ mas (/ yr)}$

这里标准误差和最小误差是对被观测星的五个天体测量参数 (位置、视差和自行) 而言的。

对于几乎全部恒星都给出了五个天体测量参数。星表还给出了变星或双星的标志。在第谷星表中的许多恒星，其自行的标准误差大于自行的数值，其自行精度太低，不能用以计算恒星在任一历元的位置，只可作为参考星用。更精确的自行可以从 PPM 星表提取^[6]，PPM 星表中包含了大约一半的第谷恒星，但使用时应该处理 PPM 星表的系统误差，第谷星表中也给出了 PPM 星号。已经提出了利用照相天图星表位置为全部第谷恒星求出自行的计划。第谷视差的精度只限于亮星，用于天体物理的目的。第谷星表包含了每颗星精确的和相对于同一标准的测光信息：双色星等 (B_T 和 V_T)。通过简单的换算，可由观测值 $B_T - V_T$ 求出约翰逊 V 星等和色指数 $B - V$ 。

第谷星表的光度测光特征为：

V_T 的标准误差 (对于 $V_T < 9 \text{ mag}$)	0.012 mag
V_T 的标准误差 (对于 $V_T \approx 10.5 \text{ mag}$)	0.06 mag
V_T 的最小误差	0.003 mag
外部误差 / 标准误差	≈ 1.0
测光中的系统误差	$< 0.01 \text{ mag}$
注： B_T 的误差一般要比 V_T 高 10% ，	

第谷星表的五个天体测量参数的精度示于图 4。因为依巴谷卫星是沿平行于黄道的方向扫描，其精度作为黄纬的函数以标准误差表示。误差相应的星表历元为 J 1991.25。相应的位置和视差的单位是 mas，自行的单位是 mas/yr。

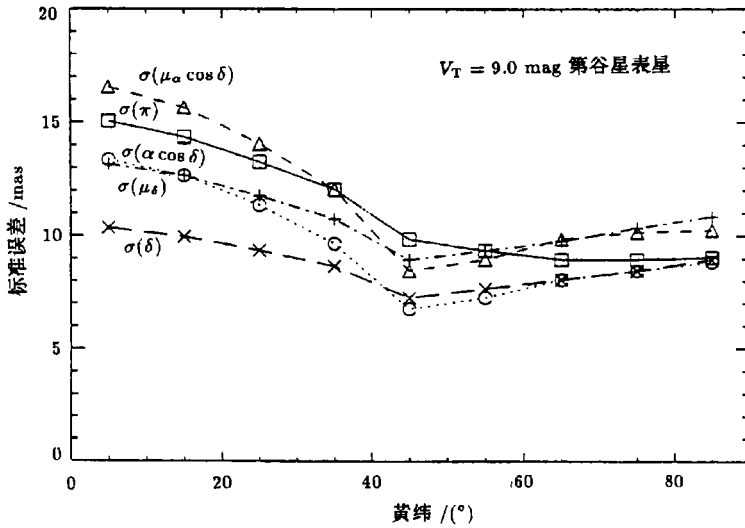


图4 第谷星表的五个天体测量参数精度
横坐标为黄纬，纵坐标为标准误差

4 科学意义

(1) 依巴谷星表提供了一个比 FK5 更为精确、密度更高、具有更好的均匀性和内部一致性的参考系。在今后的较长年代里，它将作为光学波段内的星表取代 FK5 星表。

(2) 依巴谷卫星通过对亮的射电星的观测，能将依巴谷参考架和射电参考架联系起来^[7]。通过对小行星的观测，可测定依巴谷参考架和动力学参考架之间的旋转参数，连接依巴谷参考系和动力学参考系，为测定春分点和赤道改正作出贡献^[8]。依巴谷星表中包括了全部 FK5 星，通过观测可将 FK5 星表系统归算到依巴谷参考系。由此建立的高精度的空间参考系，为建立光学惯性参考系奠定了基础。

(3) 每颗恒星几年内观测达 100 次以上，从而对每颗恒星提供了大量的、精确的和均匀的测光信息^[9]，这对于研究色指数、星等及其变化、光变周期、光变曲线等提供了非常宝贵的科学资料。

(4) 依巴谷卫星测量了十多万颗恒星的绝对视差，其精度好于 1 mas，可直接测定恒星距离，对天体物理研究具有重大意义^[10]。恒星、星云和星系等各种天体，如果有了精确的距离值，就能精确了解这些天体的空间分布、运动、大小、质量、光度、以及爆发规模。从而对它们的性质会有更深入的了解。多少年来，天文学家对天体距离花去大量精力，采用了不同方法，其结果都不理想。依巴谷卫星在短短的 4 年里，作了大量天体的高精度绝对视差观测，这对天体距离测定作出了一大贡献，具有深远的影响。

(5) 依巴谷卫星精确地测定了恒星的视差和星等，从而可以推算恒星精确的绝对星等，即

光度。结合恒星的光谱型, 可以对大量恒星, 包括主序星、亚矮星、白矮星等各类恒星作出精确的赫罗图。进一步了解天体的化学成分和年龄^[11], 为恒星的演化提供前所未有的精确资料。这对恒星的结构和演化的研究非常有利。

(6) 在依巴谷星表中, 有近三分之一是双星或聚星。通过观测已确定其中近一万个子系统以及部分双星轨道, 还测定了部分天体测量双星(见表 1)。双星和聚星认证是很困难的, 通过依巴谷卫星对此的观测处理, 为双星和聚星的识别, 提供了新的手段, 从而推进了这一领域的研究。尽管仍有一些双星或聚星没有得到认证, 随着观测精度的提高, 会得到解决。由依巴谷卫星所得到的双星或聚星为恒星天文学的研究提供了重要资料。由此双星和聚星研究将会有重大进展^[12]。

(7) 为星系运动学、星系动力学研究提供了大量的高精度的科学资料。大量的高精度的恒星位置、视差和自行的观测资料将深化对银河系运动学和动力学的研究, 使人们有可能了解其旋臂、银盘和银晕的结构、运动和演化。结合哈勃空间望远镜和新的空间卫星计划^[13], 通过对麦哲伦云自行的研究使我们了解大麦哲伦云、小麦哲伦云中的大量恒星自行, 这将阐明这些系统的动力学行为。特别是研究这些行为是否对银河系有影响, 可为阐明本星系群的结构和演化提供观测证据, 从而在宇宙学研究中具有深刻意义。

5 结 束 语

依巴谷星表是依巴谷空间计划的最主要成果之一。空间计划由欧洲空间局 (ESA) 负责。从依巴谷空间计划的提出^[14]、论证、执行到最后完成, 由下属北方资料分析中心 (NDAC)、基础天文和空间技术 (FAST)、第谷资料分析中心 (TDAC)、输入星表 (INCA) 4 个组织, 包括整个 ESA 依巴谷科学工作组全体成员, 共 200 多位科学家, 历时近 20 个年头的共同努力, 才取得了成功。另一方面, 依巴谷卫星虽然是空间天体测量卫星, 但它的科学目标, 除了编制一本依巴谷星表, 为建立惯性参考系打下坚实基础外, 主要还是用于天体物理方面的研究, 现已发表的数百篇论文的内容绝大部分是天体物理范畴的。例如: Erns Paunzen^[15]、E.Hog 和 Petersen^[16]、M.A.C.perryman et al^[17] 以及 F.Crifo^[18] 等人的论文, 展示了多彩的物理学分支的研究, 显示了伊巴谷空间计划对天文学研究的巨大意义。

可见我们绝不能局限于天体测量方面思考问题, 依巴谷的高精度的绝对视差, 和丰富的测光资料, 以及双星和聚星系统资料, 都可以充分利用于天体物理方面研究。另外, 利用高精度的空间观测资料, 结合我国连续完整的地面观测资料, 也可能作出一些有意义的工作。

参 考 文 献

- 1 凌兆芬. 空间科学学报, 1991, 11: 308
- 2 Hog E et al., Astron. Astrophys., 1997, 323: L57
- 3 Perryman M A C et al. Astron. Astrophys., 1997, 323: L49
- 4 凌兆芬, 须同祺, 王叔和. 天文学进展, 1990, 8: 325
- 5 Perryman M A C et al., Astron. Astrophys., 1995, 304: 69
- 6 Roser S, Bastian U. PPM Star Catalogue, Vol.I,II. Heideberg: Astronomisches Rechen-Institut, 1991
- 7 Lestrade J E et al. Astron. Astrophys., 1995, 304: 182
- 8 Bec. Borsenberger A et al. Astron. Astrophys., 1995, 304: 176

- 9 Van Leeuwen F *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1997, 323: L61
- 10 Pottasch S R *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1998, 329: L5
- 11 Liebert J *et al.* In: Hog E, Serdelman P K eds. *Astronomical and astrophysical objectives of sub-milliarcsecond optical astrometry*, Proc. of IAU Symp. No.166, Hague, 1994, Dordrecht: Kluwer, 1995: 157
- 12 Lindegren L *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1997, 323: L53
- 13 Westerlund B E. In: Hog E, Serdelman P K eds. *Astronomical and astrophysical objectives of sub-milliarcsecond optical astrometry*, Proc. of IAU Symp. No.166, Hague, 1994, Dordrecht: Kluwer, 1995: 273
- 14 欧洲空间局. 空间天体测量. A 阶段研究报告. 万籁等人译. 上海: 上海天文台, 1980. (油印本, 内部发行)
- 15 Paunzen E. *Astron. Astrophys.*, 1997, 326: L29
- 16 Hog E *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1997, 323: 827
- 17 Perryman M A C *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1995, 304: 69
- 18 Crifo F *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1998, 330: L25

Characteristics and Significance of the Hipparcos and the Tycho Catalogues

Ling Zhaofen Xiao Naiyuan

(Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract

We summarized the observational and astrometric Characteristics of the Hipparcos and the Tycho Catalogues, which consist of respectively 118218 and 1058332 stars with the five parameters in position, parallax and proper motion as well as the magnitude and the colour indices. The catalogues provide precisely a vast data to construct the accurate optical reference frame. We discuss their scientific significance for stellar formation, evolution, mass, size, luminosity and their distribution. We also present the impact on the studies of binary star, multiple star and galactic dynamics and kinematics.

Key words catalogs—astrometry—reference system