

前沿

依巴谷天体测量卫星的阶段成果*

王叔和 须同祺

(中国科学院上海天文台 上海 200030)

萧耐园 凌兆芬

(南京大学天文系 南京 210008)

摘 要

本文综合介绍依巴谷天体测量卫星自1989年11月开始观测以来,由头两年获得的观测资料取得的空间天体测量的阶段性成果,以及空间天体测量结果与地面观测结果相互之间的比较。成功地用于解算天体测量参数的星数已达112444颗。由依巴谷天体测量卫星的头两年观测资料进行归算处理,得到恒星位置、视差和年自行的预期精度分别为3、4和2mas。由此从整体上全面地检验了依巴谷科学计划,包括观测纲要、输入星表、卫星本身及其所有功能和资料归算处理整体流程等方面的性能和正确性。

1 引 言

自1989年8月8日欧洲空间局(ESA)^[1],由阿丽安娜(Ariane)IV型火箭发射依巴谷空间天体测量卫星(Hipparcos)上天以来,已有4年了。卫星的运行状况,科学观测任务的完成情况,卫星观测的持续时间,空间天体测量参数测定精度进展情况如何等,都是人们关心的问题。

尽管卫星成功地发射上天,但由于远地点火箭助推器点火失败,卫星没能进入预定的圆形地球同步轨道,而是在一个椭圆轨道上运行^[2],为了适应这一变化了的情况,对许多软件作了相应的修改,结果是成功的。另外不得不增加两个地面遥控站。在这些问题解决之前,从观测时间上算,采集到的有用观测资料仅仅是40%—50%^[3]。在1990年6月到1992年7月期间的两年时间内,增加到了60%—65%。在卫星运行过程中,发生过一些偶然事件或硬件失灵,到1992年中,最为严重的是陀螺仪的失灵。卫星上有5只陀螺仪,其中2只控制Z轴即自转轴定向的两只陀螺仪已失灵,不能使用,这一功能依靠第二套备用陀螺,为此ESA只能把卫星指向调整到不利于观测的太阳方向,影响有用的科学观测资料的采集。总之,不容置疑的是在头两年中,观测时间比原计划损失大约50%。

* 国家自然科学基金资助项目

1993年10月13日收到

文献 [4] 中指出: 1993 年 3 月 18 日 2 只陀螺仪坏了。1993 年 6 月 13 日星载计算机停止工作, 虽做过一些紧急抢救工作, 恢复运行, 1993 年 7 月 9 日星载计算机恢复运行不久又停止。1993 年 8 月初, 决定终止依巴谷卫星的科学观测。在 1990 年 4 月 ESA 曾经预计依巴谷卫星持续观测 2.5 年—3 年。实际观测时间比原来预计的时间延长了半年左右。

2 依巴谷观测结果

依巴谷空间天体测量卫星从 1989 年 11 月起就源源不断地采集到高质量的科学观测资料。这些观测数据主要提供给三个依巴谷空间天体测量资料分析中心, 他们是 FAST(Fundamental Astrometry of Space Technique)(称为南方组)、NDAC(Northern Data Analysis Consortium)(称为北方组)和 TDAC(Tycho Data Analysis Consortium)(称为第谷组)。另外还有 CERGA 和 ARI 两资料处理小组^[5]。特别是前两个小组同时并行处理来自相同的观测资料。南方组是在黄道坐标系统中进行处理, 北方组是在赤道坐标系统中进行处理, 这是两个组在处理资料时的主要不同之处。这种分配资料和安排的目的, 是为了检验 ESA 与各资料处理中心的资料贯通, 并且便于三个中心检验各自的软件系统对实际资料的分析处理和各中间结果的相互比较。在此综合介绍他们处理后所得结果。

2.1 观测资料的处理

图 1 中绘出 FAST 对依巴谷空间天体测量卫星观测资料处理流程^[6]。由图可见, 该流程中主要有 4 部分组成: 观测资料的初步检验和校准; 预处理; 综合处理; 迭代。此外, 还有 4 个处理内容: 小行星; 测光; 双星和聚星; 以及与河外星系参考架的联系。

在全球解的迭代过程中, 开始时用的初始近似值, 是由恒星测绘仪测得的亮星纲要星位置的初始平差值, 因为它们比输入星表中的相应值要精确得多。

在大圆解的归算处理过程中, 经试算和比较, 结果表明平滑横坐标比几何横坐标更合适, 并且应该用更多的能覆盖全天区的观测资料, 以免产生某些不良的系统差。

2.2 关于自行

由于观测时间较短, 不能得到精确的自行结果。由文献 [3] 作出的估计, 到 1992 年 9 月中旬为止, 自行精度在黄经方向为 $2\text{mas}\cdot\text{yr}^{-1}$, 黄纬方向为 $1.7\text{mas}\cdot\text{yr}^{-1}$ 。依巴谷卫星的科学观测任务的时间, 实际上已达到大约 3.5 年, 比原计划长半年以上, 可以相信, 用更长时间的观测资料最终取得的自行精度将会比原来期望的更好。

2.3 关于位置和视差

NDAC 对观测资料包括 105 936 颗纲要星的 269 769 个横坐标, 它们分布在 171 个不同的参考大圆上^[7]。实际归算处理时只用 21 856 颗星的 116 218 个横坐标; 其余的恒星因各种原因被丢弃, 主要原因之一是由于每颗星只有少于 4 个横坐标。在被解算的星中又选取 117 47 颗星为“主要参考星”, 它们本身既不是双星又不是聚星。这样, 总数为 $3\times 11\ 747+171+13=35\ 425$ 个未知量进行严格平差。另外还有 $3\times 10\ 109$ 个天体测量未知量对次要星作平差, 归算到由主要参考星定义的全局解系统上。

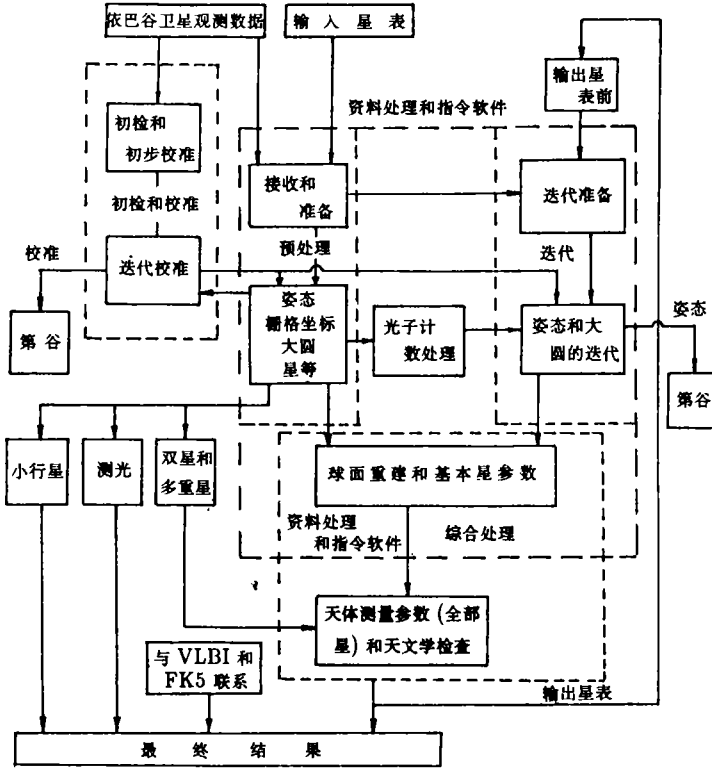


图 1 FAST 处理依巴谷空间天体测量数据流程图

这些恒星位置的平均精度是 $0''.005$, 恒星视差的平均内部标准误差是 $0''.007$ 。

另外, 法国格拉斯的地球动力学与天文学探测研究中心 (CERGA) 和德国海得堡天文计算研究所 (ARI) 两个资料处理组得到的综合解^[5], 是用了 118 233 颗星, 其中约有 30 000 颗亮星, 它们显然是非双星或多重星。这些星分布在 758 个参考大圆上, 在黄道坐标系中求解每颗星的 天体测量参数 (λ, β, π) , 结果列于表 1 中。

同时给出依巴谷观测的 FK5 星位置的 平均内符误差是 1.5mas。依巴谷卫星对 5 022 颗星测得的恒星视差的平均内符和外符误差分别是 3.8mas 和 16.7mas。

表 1 J1992.0 的 3 个 (λ, β, π) 天体测量参数解的统计结果

用于解算的星数	112 444 颗
每颗星有效观测的平均观测次数	9.1 次
被剔除的平均观测次数	1.5 次
单位权的平均误差	14.5mas
误差椭圆的平均半长轴	3.4mas
误差椭圆的平均半短轴	1.8mas
三个天测参数的平均标准偏离	$\sigma_{\lambda} = 3.0 \pm 0.1\text{mas}$
	$\sigma_{\beta} = 2.4 \pm 0.1\text{mas}$
	$\sigma_{\pi} = 3.8 \pm 0.1\text{mas}$

2.4 关于测光

依巴谷空间天体测量卫星科学计划中的一个重要的内容是恒星的光度测定。

依巴谷卫星除精确测定恒星的天体测量参数外，还可以测定这些目标的光度。由光栅后的接收器收集来自星光的光子数信息，光子数的多少随星等不同而有差异，这些光子数也受到接收器灵敏度的变化，星像过光栅的位置，恒星的颜色等因素影响。通过对这些因素的校准，以及对由地面观测精确测定的光度标准星的观测校准，测定依巴谷观测纲要中恒星的星等。由最初一年的资料分析结果表明，对 8.5mag 的星，其测定精度为 0.002mag，通过对观测的分析，还得到约 8 500 颗新的变星。另外还表明，光度测定也是证认和发现一些新的双星的一种有效方法^[8,9,10]。

2.5 关于双星检测

在依巴谷科学计划中包括有约一万颗已知双星和多重星。期望通过对这些目标的观测，以 2mas 的精度给出其“系统”位置、自行和视差值，以及发现一些新的双星和多重星。

由初步资料分析，对主星星等为 8.5mag，角距小于 $0''.2$ ， Δm 为 2.5mag 的双星，其主星和伴星的星等测定精度分别为 0.005mag 和 0.01mag。由于双星处理是在单星处理之后，现正根据资料处理中心得到的结果对双星进行初步解，而进一步的修正结果将在全部资料处理完成后才进行。不过由现在得到的结果表明，最终大约有 6 000 颗新的双星发现。但目前对于多重星的处理仍是一个问题^[11,12,13]。

2.6 关于第谷观测计划

第谷观测计划是依巴谷卫星整个观测计划的一部分。它利用安装在主光栅左右的辨星器进行观测。计划对约一百万颗亮于 $B=12\text{mag}$ 的星取得其天体测量参数和光度资料。其中最亮的 50 万颗星将得到两种颜色星等即 B_T 和 V_T ，余下的暗星，则只能得到宽带星等。对 $B=10.5\text{mag}$ 星的位置精度约为 $0''.03$ ，星等精度为 0.03mag。通过前一阶段两个主分析中心所得仪器姿态资料的分析，第谷资料分析组已对第谷输入星表作了初步修正，而最后星表将在最终的仪器姿态等确定后才能得到，估计在 1996 年之后^[14]。

依巴谷天体测量卫星已按预定计划采集到科学观测资料，并经过严密的归算处理得到恒星的天体测量参数全球解算结果，以及恒星测光和双星结果，尽管这些结果是阶段性成果，但是合理的，令人鼓舞的，堪称为依巴谷空间天体测量科学计划进程中的一个里程碑^[7]。它的意义在于：表明了高质量的天体测量资料确实可以通过依巴谷卫星的空间观测，并由一套严格的归算处理流程而获得最终结果；为下一阶段的全部观测数据的归算处理，取得高精度的空间天体测量结果，奠定了基础。

3 依巴谷观测结果的比较

依巴谷空间天体测量卫星的观测结果，不仅验证了预定计划，而且使依巴谷空间天体测量卫星观测结果与地面天体测量观测结果的比较成为可能，有了实际的数据。通过空间与地面观测结果的比较，可以鉴定地面观测星表中可能存在的大偏离；可以为空间观测结果的外符精度估计作最佳选择；也可以对依巴谷观测系统差的分析提供一种方法。

主要目的在于检验空间天体测量结果的质量。在此简要介绍与参考星表、与 FK5、与地面观测恒星三角视差的比较结果。

3.1 与参考星表的比较

Turon 等人给出的由依巴谷输入星表求得的参考星表 (RC), 它是以黄道坐标系系统表示的。通过空间天体测量结果与地面观测结果的比较, 为了鉴定参考星表中可能存在的大尺度偏离。表 2 给出依巴谷结果与参考星表的比较结果。

表 2 J1992.0 依巴谷 — 参考星表的位置比较结果 mas

	$\Delta\lambda \cos \beta$	$\Delta\beta$	$\Delta\pi$
比较样本星数	108 533 颗		5 022 颗
等权平均差值	1.6±0.9	51.8±0.9	0.3±0.2
RMS 差值	307.5	308.5	16.7
标准偏离	307.5	303.9	16.7

由此表可见, 均方根差值基本上是反映了参考星表的位置精度, 结果与人们引用的 300mas 是相一致的。

3.2 与 FK5 的比较

通过空间天体测量结果与 FK5 的比较 (这可能是与地面天体测量中质量最好资料的比较), 目的是寻求最佳外部符合精度估计。比较结果列于表 3。

表 3 J1992.0 HIP-FK5 的位置比较结果 mas

比较样本星数	$N=1\ 416$ 颗	
平均标准偏离	$\bar{\sigma}_\lambda=1.6$	
	$\bar{\sigma}_\beta=1.4$	
旋转到 FK5 的旋转角	$\phi_x=-7.8\pm 3.0$	
	$\phi_y=2.2\pm 3.0$	
	$\phi_z=61.7\pm 3.2$	
旋转以后:		
	$\Delta\lambda \cos \beta$	$\Delta\beta$
等权平均差值	+1.7±2.4	+38.5±2.4
标准偏离	90.3	90.3

3.3 依巴谷星对与 FK5 星对弧长的比较

设 $\Delta=\Delta\text{HIP}-\Delta\text{FK5}$, 其中 ΔHIP 为依巴谷测定的星对横坐标差值, ΔFK5 是 FK5 星表中的相应星对结果, 是由星表位置计算得到的横坐标差。图 2 中给出的是某个参考大圆上的观测结果绘制的, 该大圆的极是由 $\lambda_p=3^\circ.6$ 和 $\beta_p=-41^\circ.9$ 定义的。共用了 19 颗 FK5 星, 构成 171 个星对, 得到 Δ 的平均值为 30.4mas, 标准偏离为 119.3mas。

在 FK5 星表的形式误差和假设横坐标精度都是几个 mas 的情况下, 过去曾预测标准偏离小于 90mas。上述误差大小和图 2 中的 Δ 分布, 在已发表的其他文章中也给出了类似的结果。再一次证实这可能是由于 FK5 星自行太大引起的。

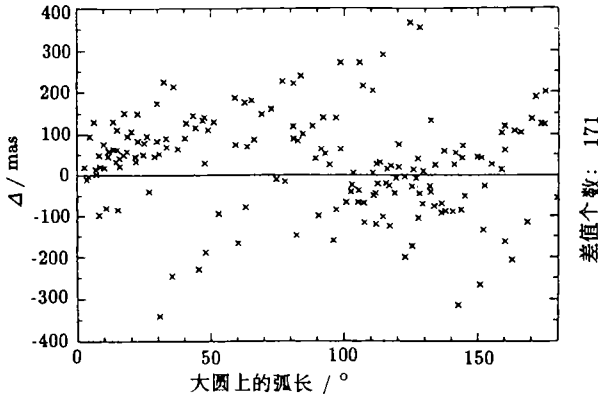


图 2 Δ 的分布情况

3. 4 FAST 与 NDAC 解算结果的比较

Kovalevsky 对 FAST 和 NDAC 两个分析小组分别解算所得天体测量参数结果进行了比较。由于两者在球面重建计算中用不同的算法，导致两者的参考架不相同。它们最终将与河外星系 VLBI 天球参考架联系起来，实现这种联系只能在整个处理全部结束时才能作到。但是为了进行比较，在某一确定的历元，用输入星表 (INCA) 的自行结果，使其转换到一适用的星表，使两者的位置差达到最小。

两者进行比较时用了 40 867 颗星，这些星在两个小组中分别解算三个天体测量参数 (位置和视差) 时都是共同星。比较结果表明，均方差在黄纬方向是 1.9mas, 黄经方向是 2.2mas, 结果绘于图 3 中。

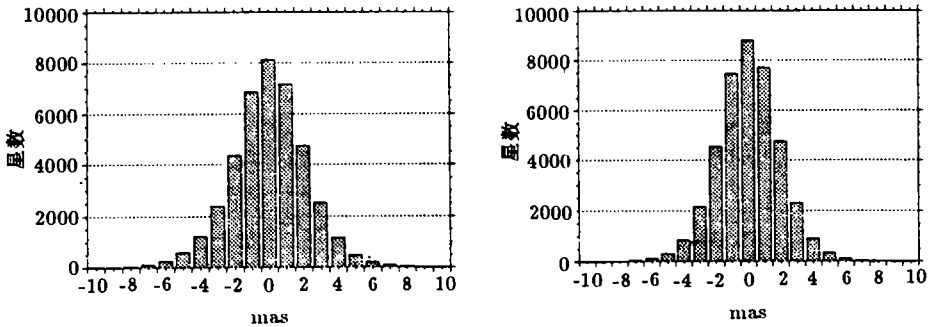


图 3 40 867 颗比较星的 NDAC-FAST 位置差的分布图，左图是黄经方向，右图是黄纬方向

NDAC 和 FAST 两个小组处理所得的内符精度是一致的。同时，两者所得视差的系统差不显著。差值的均方差是 2.5mas, 见图 4。该结果与已发表的精度结果也是相一致的。除此之外，在整个天球上的分布的检验表明两种解算方法所得结果不存在区域性系统差。总之，两个小组的结果没有显著的差异。我们有充分的信心，相信两者的处理过程和软件系统是可靠的。

3.5 与地面观测恒星视差的比较

在这一比较中，地面观测恒星视差结果用的是在 25PC 以内的近距星视差表 CNS3，依巴谷观测的星与 CNS3 之间有 1 231 颗星是共同的。图 5 给出依巴谷结果与 CNS3 表列值之间的分布关系。由图可见，值得注意的是大约有 40mas 视差值的强烈减小，主要集中在图的左下部，原因还不明，但是一种系统差的反映。

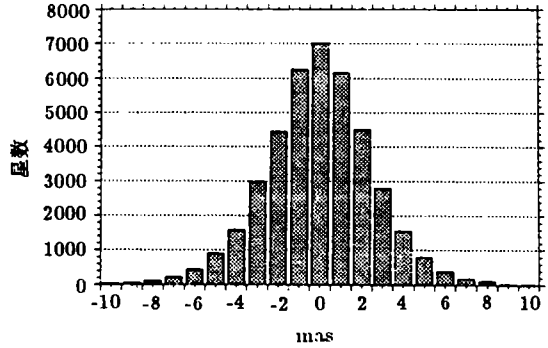


图 4 40 867 颗比较星的 NDAC-FAST 视差差值的分布图

4 结束语

综上所述，依巴谷空间天体测量卫星的结果，本身还是阶段性的成果。因为利用的资料只是卫星所采集到的一部分，天球的覆盖面还是偏少，平差处理中的丰度因子也不大，因而极易受“恶性”资料，例如尚未鉴别的双星等因素的影响。但是由此可见，首先从总体上检验了依巴谷计划；其二检验了依巴谷输入星表即观测纲要；其三检验了卫星的功能和运行的可靠性，以及资料处理的软件系统流程的正确性。实际上，在处理过程中对某些部分作了细致的调整，进一步地完善了软件系统。

依巴谷空间天体测量卫星成功地发射上天，并且取得空间观测科学资料，开创了空间天体测量的新纪元^[15]。这些空间天体测量的阶段性成果的获得，标志着依巴谷科学计划进程中的一个里程碑^[7]。它的意义在于表明了高质量的空间天体测量参数确实可以由依巴谷卫星观测，并且通过严密的归算处理取得。它也将有力地促进正在酝酿之中的第二个依巴谷卫星计划的付诸实施^[16,17]。我们将充满着信心，期待着高精度的空间天体测量的最终成果于 1995 年或 1996 年发表，公诸于众。

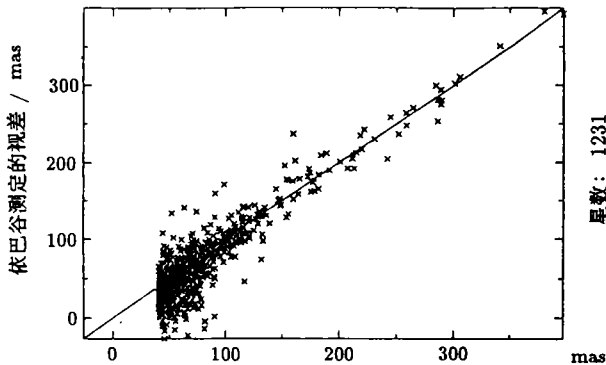


图 5 依巴谷测定的视差与近距星星表的视差之间的比较

参 考 文 献

- [1] Perryman M A C, Hassen H. ESA, SP-III,II, 1989: 7
- [2] Perryman M A C. ESA Astronews, 1989, (10): 1
- [3] Kovalevsky J, Froeschlé M. In: Mueller I I, Kolaczek B eds. Developments in astrometry and their impact on astrophysics and geodynamics, Proc. of IAU symp. No.156, Shanghai, 1992, Dordrecht: Reidel, 1993: 1
- [4] Perryman M A C. ESA Astronews, 1993, (21): 5
- [5] Walter H, Froeschlé M, Falin J. In: Mueller I I, Kolaczek B eds. Developments in astrometry and their impact on astrophysics and geodynamics, Proc. of IAU symp. No.156, Shanghai, 1992, Dordrecht: Reidel, 1993: 11
- [6] Kovalevsky J, Falin J L, Pieplu J L *et al.* Astron. Astrophys., 1992, 258: 7
- [7] Lindegren L, van Leeuwen F *et al.* Astron. Astrophys., 1992, 258: 134
- [8] Mignard F, Froeschlé M, Falin J L. Astron. Astrophys., 1992, 258: 142
- [9] Evans D W, van Leeuwen F, Penston M J *et al.* Astron. Astrophys., 1992, 258: 149
- [10] Froeschlé M. *L' Astronomie*, 1992, Jul.-Sep.:1
- [11] Söderhjelm S, Evans D W, van Leeuwen F *et al.* Astron. Astrophys., 1992, 258: 157
- [12] Mignard F, Froeschlé M, Badiali M *et al.* Astron. Astrophys., 1992, 258: 165
- [13] Pannunzio R, Spagna A, Lattanzi M G *et al.* Astron. Astrophys., 1992, 258: 173
- [14] Høg E, Bastian U, Egret D *et al.* Astron. Astrophys., 1992, 258: 177
- [15] 凌兆芬, 须同祺, 王叔和. 天文学进展, 1990, 8: 325
- [16] 王叔和, 须同祺. 天文学进展, 1992, 10: 219
- [17] 萧耐园, 凌兆芬, 须同祺, 王叔和. 天文学进展, 1993, 11: 70

(责任编辑 刘金铭)

Preliminary Progress in the Hipparcos Astrometry

Wang Shuhe Xu Tongqi

(Shanghai Astronomical Observatory, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030)

Xiao Naiyuan Ling Zhaofen

(Astronomy Department, Nanjing University, Nanjing 210008)

Abstract

In this paper, the developments in the space astrometry which are obtained from the observing data of first two years collected by Hipparcos space astrometric satellite since beginning of Hipparcos observation in September 1989 and the comparison between the results of the space observations and the ground observations are described. The astrometric parameters has been successfully calculated with 112 444 stars. The predicted accuracies of the positions, the trigonometric parallaxes and annual proper motions are 3,4 and 2 mas respectively. These results examined the Hipparcos project as a whole, such as the satellite, its operation, the observing programme, "Input Catalogue", the processing of the Hipparcos data and the system of the data reduction software.