

空间天体测量时代*

凌兆芬 须同祺 王叔和

(南京大学天文系)

(中国科学院上海天文台)

提 要

本文主要介绍依巴谷、哈勃空间望远镜和罗蒙诺索夫计划的空间天体测量的科学目的,测定天体测量参数的精度,目前执行情况,以及我们对此的准备作一简述。

一、前 言

20世纪50年代以来,电子、计算机、航天等新技术的成功,特别是空间技术的发展,使天体物理学形成了诸如 γ 射线天文学、X射线天文学、远紫外天文学、红外天文学等新的天文学分支,利用新颖方法和精密仪器,获得了令人惊奇的结果。然而,天体测量学仍未能突破以地面为观测基地的传统观测方法,基本天体测量处于缓慢前进的状态,远远跟不上科学发展的要求。60年代后,一方面受到天文学迅猛发展的影响,另一方面,技术的进一步发展,使得天体测量学能够应用人卫多普勒观测、激光测距、甚长基线干涉测量,行星雷达测量等新技术和新方法。古老的天体测量学进入了一个新的时期。90年代,天体测量学可能步入新的空间天体测量时代。

目前正在实施和酝酿的空间天体测量计划有依巴谷卫星(专用)^[1]、哈勃空间望远镜(多用途)、空间长焦距望远镜、空间VLBI测量、罗蒙诺索夫计划等。计划观测10万到40万颗恒星的空間位置、自行和视差。在2—3年的观测周期内,获得精度比地面观测高1—2个数量级的天体测量参数。建立全天球精确的惯性坐标系。空间天体测量学的发展可能构成对天文学其他领域研究的严重挑战,对于恒星的质量、光度、恒星和星系的距离、尺度、以及银河系的结构、运动学和动力学等问题的认识具有潜在的重要性。

在空间天体测量时代,地面天体测量仍然有它的特定作用和意义,由于篇幅限制,不加赘述。本文侧重介绍依巴谷卫星、哈勃空间望远镜和罗蒙诺索夫计划的空间天体测量的科学目的,测定天体测量参数的精度,目前的执行情况。最后简述一下我们的准备和意见。

二、依巴谷计划

欧洲空间局(ESA)在1989年8月^[2],利用Ariane IV火箭发射了一颗专门用于天体测量的卫星——依巴谷天体测量卫星。参加该计划的有西欧和美国等十四个国家^[3]。该计划共接纳了国际上几百名科学家提出的223份科学建议^[4],其中包括本作者之一提出的两个科学

* 国家自然科学基金资助项目。
1990年1月12日收到。

建议。计划在两年半时间内，测定 12 万颗恒星的位置、自行和视差。旨在建立起全天均匀覆盖的坐标网络，解决与基本天体测量密切相关、目前还悬而未决的问题，如恒星的质量、恒星的演化、恒星光度、银河系结构等。更重要的是，依巴谷计划从理论上、实际计算方法上，突破了地面经典天体测量方法，给古老的天体测量学带来了新春。

依巴谷卫星有两架光轴垂直于自转轴、交角为 58° ^[3] 的反射望远镜、自转轴方向与太阳方向的夹角为 43° ^[5]、它均匀地绕太阳方向旋转，两架望远镜同时绕自转轴均匀的旋转，形成依巴谷卫星的扫描观测(参见图 1)^[6]。随着太阳的运动，自转轴方向在天空按旋轮线方式运动(参见图 2)。望远镜的连续扫描观测形成扫描大圆，均匀覆盖全天空(参见图 3)。表 1 给出扫描观测参数。依巴谷卫星这种扫描观测的独特构思是建立均匀恒星坐标系的基础。

由精确测定两恒星间的大圆角距，计算恒星的位置、自行和视差，这是依巴谷卫星数据解算的特点。表 2 给出依巴谷卫星观测预计的观测精度。表中的第谷计划是利用依巴谷卫星测绘仪在卫星定位过程中获得的观测资料，归算后得到的结果。

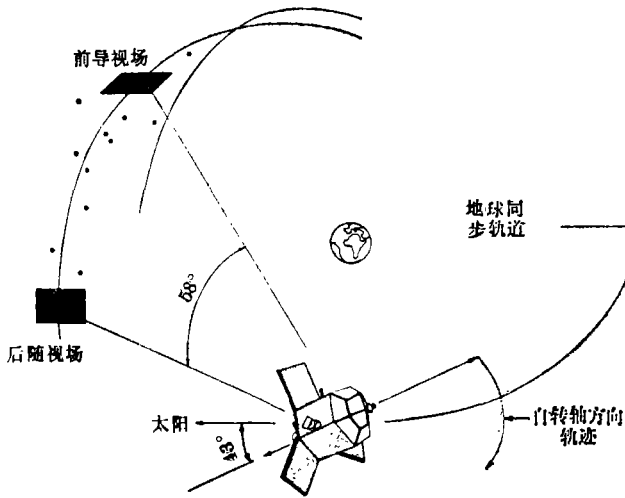


图 1 依巴谷扫描观测示意图

表 1 扫描观测特征参数

观测时间	2.5年
扫描速度	11.25大圆/每天(168"·75/hr)
自转轴与太阳方向的夹角	$43^\circ \pm 0.5^\circ$
自转轴进动	6.3圈/每年

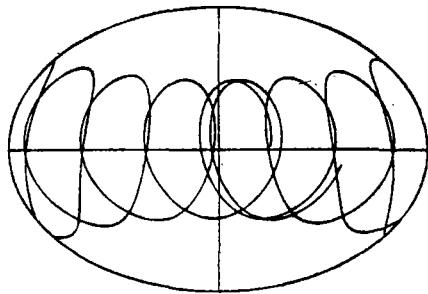


图 2 自转轴运动轨迹。时间间隔为一年，坐标为椭球坐标，水平线为黄道

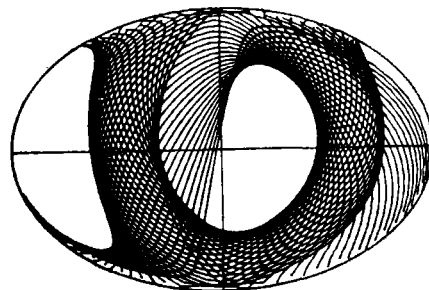


图 3 一个视场的运动轨迹。时间间隔为 50 天，每天为一个扫描大圆

表 3 给出了依巴谷卫星光学系统的参数。终端接收器是析像管(IDT)，接收波长范围为 $375-750\text{nm}$ ^[8]。讯号采用调制式接收。在 IDT 前，放置具有 2688 条窄缝，窄缝宽度为 $8.2\mu\text{m}(1''.2)$ 的调制栅。这样，最暗可观测到 12.4 等星。在依巴谷卫星所观测的 12 万颗恒星中，各种星等恒星的分布如图 4 所示。从图中可见，极值在 8—9 等之间，观测的恒星数为

表 2 预计的观测精度^[6]

主要计划	观测星数	120000
	最暗观测星等	$V_B=12.4$
	位置精度	$0''.002(V_B=9)$
	视差精度	$0''.002(V_B=9)$
	自行精度	$0''.002/\text{年}(V_B=9)$
	系统误差	$<0''.001$
第谷计划	观测星数	>400000
	最暗观测星等	$V_B=10\sim 11$
	位置精度	$0''.03(V_B=10)$
	测光精度	$0''.05\text{mag}/\text{单次观测}$
	每颗星观测次数	100次

表 3 依巴谷卫星光学系统基本参数

主镜口径	290mm
焦距	1400mm
表面精度	$\lambda/60\text{ rms}$
视场	$0^\circ.9 \times 0^\circ.9$
基本角	58°
基本角稳定度	$0''.001/2.8\text{小时}$
色差	$<0''.005$
光学畸变稳定度	$<1\text{mas}/24\text{小时}$
光学系统	全反射偏心施密特系统

星中, 各种星等恒星的分布如图 4 所示。从图中可见, 极值在 8—9 等之间, 观测的恒

40800 颗。

由表 3 可以看到依巴谷计划不仅大大地提高了恒星的位置、自行和视差的观测精度, 更重要的是 12 万颗恒星的高精度的测量构成了一个均匀的空间参考系。其中, 依巴谷卫星自行观测精度相当于地面 50 年的观测精度。它的视差观测精度, 使得在 100pc 距离内的恒星距离测量精度 $\leq 20\%$ 。这些量的正确导出是天体物理和宇宙学的基础。

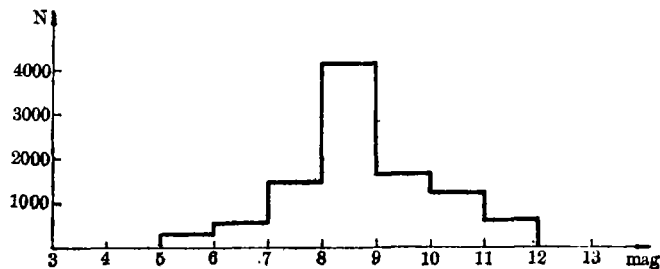


图 4 各种星等恒星观测数分布图示

但是, 由于卫星远地点火箭助推器点火失败, 依巴谷卫星没有能进入预计的圆形地球同步轨道, 目前停留在椭圆过渡轨道上, 执行修改后的依巴谷计划。由于它在椭圆轨道上(近地点为 540km, 远地点为 35900km, 倾角为 $6^\circ.8$, 轨道周期为 10^h40^m ^[7]), 长时间的日食、星食以及地面不可能全天候跟踪, 严重的影响观测的连续性和观测精度。使得修改后的依巴谷计划观测时间比原计划损失 50%。特别严重的是观测覆盖的天区出现了两个“空洞”(或称盲区)。盲区中心分别为 $\alpha=2^h, \delta=+15^\circ$ 和 $\alpha=17^h, \delta=-15^\circ$, 盲区的直径达 30° 。但据 1990 年 4 月报道^[8]依巴谷卫星将在目前的椭圆轨道上运行 2.5—3 年, 并将达到原计划观测精度。这颗卫星的发射, 虽然开始受到一些挫折, 但仍能按原定精度进行工作, 这对证实空间天体测量原理的正确性, 庞大资料处理的可行性和可靠性有着非常重要的意义。它毕竟是天体测量卫星步入空间的前驱者。目前, 欧洲空间局的科学家, 仍在积极筹划发射第二颗依巴谷卫星^[2]。

三、哈勃空间望远镜

美国的哈勃空间望远镜(有关参数见表 4)已于 1990 年 4 月 24 日^[9], 由发现号航天飞机载运升空。哈勃空间望远镜将能观测到比地面观测暗 50 倍的恒星, 清晰度好 10 倍。对宇宙

探索的空间扩大了 350 倍, 人类的视野可触及到距离为 140 亿光年、处于近宇宙边缘的天体。哈勃空间望远镜不仅期望对超新星、脉冲星、中子星、黑洞、类星体等天体有突破性的认识^[10], 而且在宇宙学和近代物理学方面, 可能获得目前无法想象的新奇结果。

表 4 哈勃空间望远镜主要参数^[10]

焦距	13.1m
口径	4.25m
主镜口径	2.4m
重量	11250 kg
指向稳定度	0".007
波长覆盖区域	1150Å—1mm
寿命	15—20年

空间天体测量占哈勃空间望远镜总科学任务的 15%。望远镜 6 个科学仪器模块中^[11], 有两个模块除了用于天体物理观测外还可用于空间天体测量。它们是精密制导传感器(FGS)和宽视场/行星照相机(WF/PC)。

精密制导传感器在望远镜主镜焦平面上(参见图 5^[12])。它用来高精度地决定恒星的相

对位置。预计单次观测平均误差为 0".002^[9], 在平均和定标以后, 相对视差测定可达 0".0005。观测星等范围为 $m_V = 10-20$ 等。

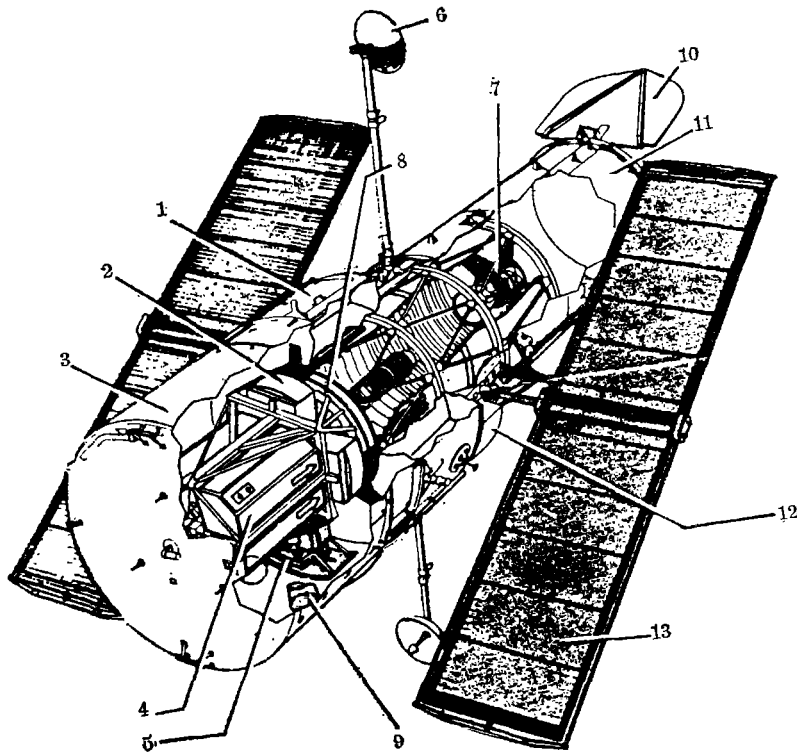


图 5 哈勃空间望远镜主要部件示意图

1. 设备剖面 2. 传感器 3. 外壳 4. 轴向调节器 5. 径向调节器 6. 天线 7. 副镜
8. 主镜 9. 跟踪器 10. 孔径通道 11. 档光板 12. 剖面 13. 光电池阵

宽视场/行星照相机由四个 CCD 组成, 每个 CCD 的视场为 $3' \times 3'$, 像素为 800×800 。在视场 $2'.67$ (或 $1'.11$) 范围内, 可以精确测定恒星的自行, 自行精度好于 $0".002$ /年。

由上面所述, 哈勃空间望远镜在基本天体测量中的作用有两点: (1) 它把视差测定的极限星等提高到 20 等, 而且精度比地面好 1—2 个数量级, 其结果使得很多恒星可以进入三

角视差的测量范围, 其中包括一些晚 B 型主序星, 晚型巨星, 大大丰富了赫罗图上的晚型主序星资料。(2) 从第二节中可知, 依巴谷卫星的观测是相对观测, 它只建立起一个自洽的有旋转的相对系统, 而空间望远镜测定的相对位置是以河外星系天体作为参考星的, 它的观测可以确定依巴谷系统相对于非旋转系统的旋转量, 把基本天体测量参数与惯性坐标架联系起来。

四、罗蒙诺索夫计划

苏联最近提出三个空间天体测量计划, 其中最引人注目的是由施登堡天文研究所提出的罗蒙诺索夫计划^[13]。该计划的空间卫星天文观测原理与依巴谷卫星类似。卫星及望远镜截面(见图 6)。所不同的是, 接收和记录系统是 CCD 而不是调制光栅和光电倍增管。观测纲要(见表 5)由不同科学目标的星组成。

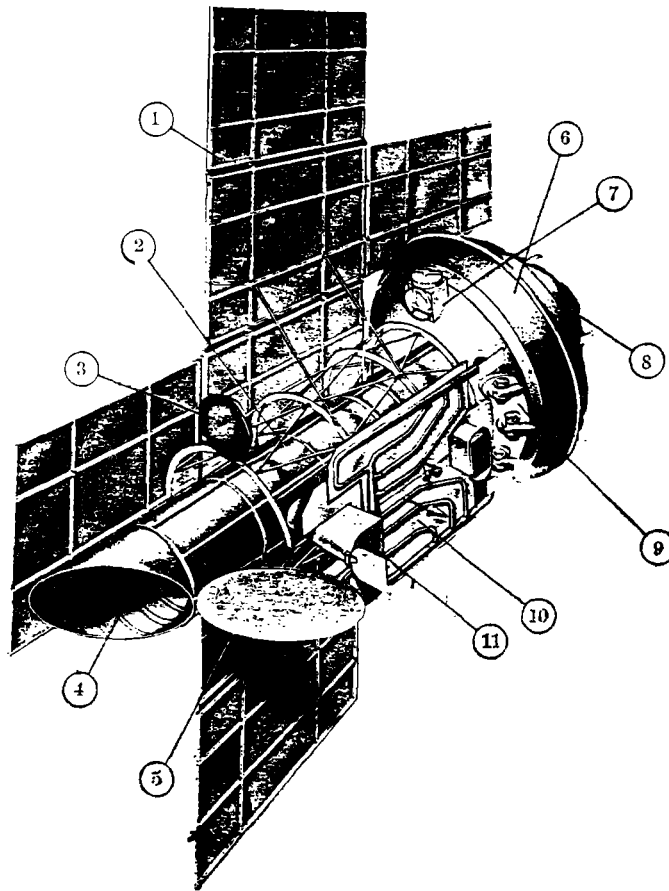


图 6 罗蒙诺索夫空间卫星截面示意图

1. 太阳能电池组 2. 望远镜本体 3. 遥测阵 4. 11. 孔径输入端 5. 通讯阵
6. 设备装集箱 7. 电飞轮 8. 引擎 9. 恒星跟踪装置 10. 热辐射器

表 5 观测纲要

观测总星数	400000	($V_p=10.0$)
暗星	8000	($V_p=13.0$)
最亮的河外源	30	
太阳系天体(行星, 小行星)	40	

望远镜为卡塞格林式, 等值焦距 50 米。主镜口径为 1 米, 焦距为 4 米。两个望远镜的基本角为 90° 。恒星的位置、年自行和视差的观测精度均为 $0''.002-0''.010$ 。可测距离增大到 1kpc, 相对误差只有 10%。可研究的空间和科学范围优于依巴谷计划。

罗蒙诺索夫计划得到的结果与地面射电干涉测量和太阳系天体的观测结果比较, 可建立起以河外射电源为基准的惯性坐标系。另一方面, 用经典光学方法和借助于射电干涉方法, 可得到地球自转参数。这样, 罗蒙诺索夫计划建立的参考系将可以成为现代最好的惯性参考坐标系。它可用来研究如: 星系和较差自转; 分立恒星群和银河系旋臂的运动; 垂直于星系对称平面的恒星运动; 动力学参考系(行星和月亮)和绝对几何参考系之间的连接; 对地球自转轴运动的测定, 以得到更精确的有关地球内部结构特性资料; 地极长期位移研究, 大陆板块漂移和地球惯性距的变化; 行星位置长期效应的研究, 测定更精确的行星质量。在 30 年到 50 年以后这种坐标系仍能保持相当高的精度($0''.005-0''.010$)。准备在 1996 年出版第一本星表。

罗蒙诺索夫计划和依巴谷计划有非常类似的观测原理。但是, 在观测记录和资料处理方面有所不同。这样可以发现两个方法的系统误差, 提高所得资料的可靠性。

五、结 束 语

由以上介绍可见, 空间天体测量将在今后的天文学中起重要作用。我们应根据现有条件, 早作准备, 以免失去良机。

根据我国现有科学技术和经济条件, 我们不可能发射专用的天文卫星。但可借助于国际上的空间计划进行工作。在依巴谷计划中, 我们已有两个提案, 利用优先使用资料的方便, 进行地球自转、极移、星表和参考系联系的研究, 将使我们能参加到空间天体测量研究的行列中去。

目前许多地面计划, 如射电源和射电星的光学、射电观测, 绝对自行的测定等, 都在进行中^[14], 其中特别是自行测定, 这些工作对将来的空间天体测量具有重要意义。通过对射电源的光学观测, 可以研究岁差常数^[15], 进而利用空间观测结果, 如射电源的“自行”数量适当多, 就可以对空间观测系统和射电源参考系之间的转动和联接独立地进行检验研究。由射电星自行结果, 可用作对空间观测系统和光学星表之间联系的一种检验^[16]。对空间计划观测的恒星, 由地面和空间观测比较, 可研究其间的系统差。现在的射电源星表, 精度很不一致, 共同星亦很少, 这对射电光学参考系联系亦是不利的。由这些情况, 对我们的星表工作提出以下一些看法。

在今后要尽量争取参加国际上可利用的空间计划, 利用如光电等高仪、子午环、大望远

镜等对空间的观测计划, 参考系联系中使用的射电星、恒星和国际上正在进行的 400 颗射电源的观测, 特别是这些射电源的“自行”的取得。利用 VLBI 进行射电源的射电观测, 特别是对那些没有或很少观测史的对象观测, 为地面、空间和射电参考系联系作出贡献。

参 考 文 献

- [1] ESA, HIPPARCOS Space Astrometry, Report on the Phase A Study, ESA Document Sci. (1979), 2.
- [2] Lindegren, L., (private communication).
- [3] Perryman, M. A. C., ESA, BR-24, (1985), 10.
- [4] ESA, SP-1111, II, (1989), 250.
- [5] 凌兆芬, 空间科学学报, 8 (1988), 20.
- [6] Perryman, M. A. C. and Hassan, H., ESA, SP-1111, II, (1989), 7.
- [7] Perryman, M. A. C., ESA Astronews, (1989), No. 10, 1.
- [8] Perryman, M. A. C., ESA Astronews, (1990), No. 11, 3.
- [9] Jakobsen, P., ESA Astronews, (1990), No. 11, 1.
- [10] Giacconi, R., Science Operation with ST, NASA, CP-2244, (1982), 1.
- [11] Lasker, B. M. and Sturch, C. R., ST Sci Newsletter, 6 (1988), No. 3.
- [12] O'Dell, C. R., The Space Telescope Observatory, NASA, CP-2244, (1982), 20.
- [13] SSSR, Lomonosov Project Report, in IAU Symp. No. 141, (1989).
- [14] Kovalevsky, J. et al., ESA, SP-1111, III, (1989), 297.
- [15] 王叔和, 须同祺, 陆佩珍, 天文学报, 31 (1990), 161.
- [16] 须同祺, 陆佩珍, 王叔和, 上海天文台年刊, (待发表).

(责任编辑 舒似竹)

The Space Astrometry Age

Ling Zhaofen

(Astronomy Department, Nanjing University)

Xu Tongqi Wang Shuhe

(Shanghai Observatory, Academia Sinica)

Abstract

In this paper the scientific goals, their expected results and recent development of three missions for space astrometry HIPPARCOS and HST and Lomonosov, are presented. Our preparations on these missions are also briefly described.