

## 前沿

# 伊巴谷空间天体测量任务对天文学发展的意义

李正心

(中国科学院上海天文台)

## 提 要

欧洲空间局专门用作空间天体测量的伊巴谷卫星将于1988年上半年发射。本文概述了这一任务的历史过程和当前的状况。特别是介绍了这一空间天体测量任务的完成,将对天文学十个方面的研究提供更多更好的测量依据。这一前景同时也说明,空间时代的天体测量工作,对推动整个天文学的发展仍起着重要的作用。

自从法国天文学家 Lacroute 于 1966 年提出现今称之为伊巴谷 (Hipparcos, 即 High Precision PARallax Collecting Satellite) 的空间天体测量设想<sup>[1]</sup>以来,差不多已经过去了二十年时间。最新的信息是:依巴谷卫星将于1988年上半年发射<sup>[2]</sup>;在空间工作二年半以后将于1993年向全世界公布十万颗恒星的测量结果。其位置、自行年变率和视差的精度,均达到 $0''.002$ 的高水平。这样一个称得上是天文学史中空前的壮举是怎样提出来的呢?它发展的情况如何?它的完成将对整个天文学的发展起什么样的作用?空间时代天体测量学的展望如何?这些就是本文想谈的问题。

## 一、历史情况

Lacroute 教授在退休以前任法国东北重镇斯特拉斯堡 (Strasbourg) 天文台台长。他在 1966 年首次提出将天体测量从地面转移到空间中去的设计,这是以他为代表的众多天文学家长期致力于地面天文测量研究后得出的一个结论。

法国斯特拉斯堡天文台对天文观测工作的研究是很有传统的<sup>[3]</sup>。在长期努力改进和提高地面观测效应的过程中,特别是 Lacroute 等人在 1947—1964 年期间对地面观测问题作了系统研究以后,得到了以下三点结论<sup>[4]</sup>:

1. 在过去 150 年中,地面测定星位的精度已提高了 100 倍。但是,现在影响观测精度进一步提高的因素却是大气本身了。已不能再期待在地面进行的天体测量工作的精度可以有迅速而又无限制的提高。

1985年8月10日收到。

2.就地面大气的干扰来说,大多数高频干扰因素可以用平均方法来消除。但是,其低频干扰因素造成的系统性的误差影响却是无法加以研究和消除的。

3.唯一的出路在于将天体测量工作转移到空间中去进行。

致力于地面天体测量研究的人们,在长期实践和研究的过程中,终于明确地提出了空间天体测量的设想和初步方案。这就是Lacroute等人在1966年提出依巴谷计划的历史背景。

## 二、在地面和空间进行天体测量的精度限制问题

在地面进行天体测量时,主要有四方面的因素影响着观测的精度。由于这些因素的存在,地面天体测量的精度已不可能再有数量级上的提高了<sup>[2]</sup>。

表1中列出了这些限制因素以及在地面进行天体测量时相应的精度极限。

表1 天体测量观测精度的极限

因 素	观 测 精 度 的 极 限	
	地 面 观 测	空 间 观 测
大 气 湍 流	$0''.05-0''.2^{[5-8]}$	无
大 气 折 射	$0''.02-0''.1^{[9-14]}$	无
地 球 的 运 动	$0''.15/100\text{年}^{[15]}$	与岁差、章动和地球自转参数的误差无关
全 天 球 测 量 结 果 的 不 一 致 性	$0''.2^{[16]}$	无

表中“地球的运动”主要指的是描述地球在空中方位的诸要素,诸如岁差、章动和地球自转参数等。由于这些参数的误差,将导致地面观测在测定星位自行时产生 $\pm 0''.15/100$ 年的测量中误差。

所有在地面进行观测的天体测量技术,没有一种能对整个天球进行观测。只有将不同地点的地面测量结果加以综合,才能得到一个全天球范围的星表系统。这种做法导致全天球测量结果的不一致性。星表区域性误差就是它的表现。以FK4星表为例,这种误差为 $0''.2$ 的量级。

当我们将天文观测转移到空间中去进行以后,这几种因素都将不再存在。依然存在的只是仪器本身固有的颜色效应<sup>[2]</sup>。空间天体测量的精度极限主要取决于仪器本身和探测器的灵敏度。换句话说,空间天体测量的精度极限取决于我们的工艺技术水平。从当前的科学技术水平来看,空间天体测量的精度已达到几个毫角秒的水平。也就是说,比地面观测提高两个量级。

由于空间天体测量对工艺技术水平要求很高,所以在相当长的一段时间内并没有对这个设想进行认真的考虑和论证。只是到了七十年代以后,诸如美国的空间望远镜和欧洲的依巴谷卫星这些空间天体测量计划才逐步进入实施的阶段。它们预期的 $0''.002$ 精度才被人们认为是可能的。从此,人们普遍地认识到空间时代天体测量的光辉前景。

### 三、依巴谷空间天体测量任务的概况

#### 1. 过程

依巴谷空间天体测量任务的整个过程可以表示如下：

1966年：提出(法国Lacroute)

1969—70年：可行性研究(法国国家研究中心)

1975—76年：课题研究(欧洲空间局)

1977—79年：技术设计(欧洲空间局)

1980年：接受(欧洲空间局)

1982—83年：企业进行研究设计

1984—87年：具体准备工作(卫星制造、观测纲要和软件的准备)

1988(上半年)：卫星发射

1990年：第一期(2.5年)测量任务结束

#### 2. 基本的测量原理

图 1 是望远镜的示意图：夹角为  $\gamma$  的两路光线相聚在光栅  $F$  处。因此它犹如一个夹角为  $\gamma$  的量角规，可以用来精密地量测地球上任意两颗夹角接近  $\gamma$  角的恒星间的大圆弧长。现取  $\gamma = 58^\circ$ 。

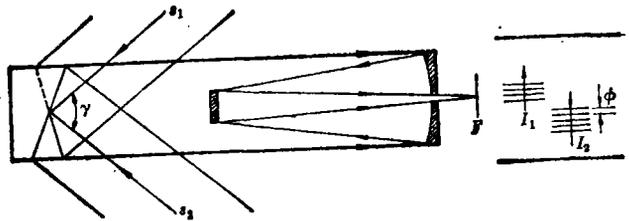


图 1

在整个两年半的测量过程中，

可以用这个“量角规”测量十万颗恒星间的大圆弧长，使得每颗恒星至少有三十个已知大圆弧与其他的有关恒星相联结(图2)。通过归算就可以得到各颗恒星的星位、自行和视差。

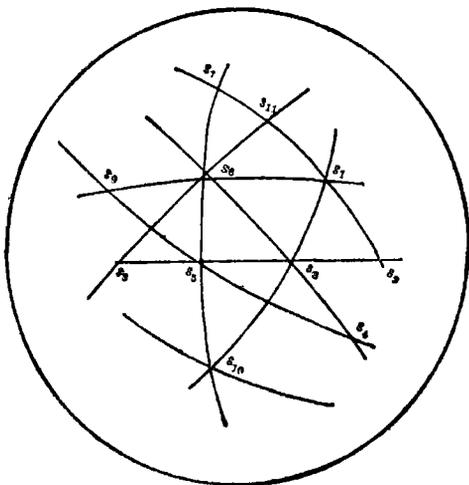


图 2

#### 3. 所得的测量结果

表 2 按星等列出了依巴谷任务中计划观测的恒星。

对这些恒星，预期的平均测量精度为：对视差和恒星的赤经、赤纬坐标，均为  $0''.002$ ；对恒星自行则为  $0''.002/\text{年}$ 。

根据 E.Høg 教授的建议，一个称之为“第谷”(TYCHO)的补充计划已被正式接受。它利用依巴谷卫星的辨星器在卫星定位过程中的观测资料，对其他 400,000 颗亮于 11 等的恒星进行测量。经过最后归算，预期的星位测

定精度为:

对8.7等星:  $0''.03$

对9.7等星:  $0''.06$

对10.7等星:  $0''.15$

根据这些测量结果, 在与1930年出版的AGK2和好望角两星表的结果相比较后, 可以得到其中300,000颗恒星的自行。其预期精度为每年 $0''.003$ 。

表2 所得十万颗恒星的概况

星 等	星 数	完 全 性
<6	3,000	100%
6—7	5,400	100%
7—8	14,800	100%
8—9	40,800	90%
9—10	16,000	15%
10—11	12,000	4%
11—12	6,000	0.8%
12—13	2,000	0.1%

#### 四、伊巴谷任务在科学上的目的

欧洲空间局(ESA)1979年在关于伊巴谷空间天体测量卫星的研究报告中, 曾经系统地叙述过它在科学上的目的<sup>[16]</sup>。自那以后, ESA收到了二百份以上的建议书, 对卫星的观测目标和据此可能研究的课题, 提出了大量的新建议。这充分说明了全世界的天文界对伊巴谷任务的期待。

天体测量的资料, 特别是恒星的距离、质量、绝对光度和自行等, 是大部分天体物理和宇宙学研究的基础。但是由于地面天体测量技术的限制, 使我们对于这些问题的研究受到了影响。例如在地面进行三角视差测量时, 直接测定恒星的距离限于100秒差距这样的有限范围内。这就大大影响了其他视差测定方法的精度, 因为它们都是以直接进行的三角视差测量结果作为定标基础的。伊巴谷任务的完成, 可以使直接测定视差的距离扩大五倍, 也就是使可以直接测定视差的恒星数扩大100倍以上。其他关于恒星质量、自行等方面的研究, 无论是数据的精确度还是数据的数量, 都会有数量级上的提高。所以在ESA的报告中说: “假如完成了这个任务, 预期这些发现将影响我们对于恒星结构、星系动力学、恒星演化、星系演化和宇宙学的基本认识。如果说这些领域, 可能还有其他领域, 许多目前的概念将由于伊巴谷卫星任务的成果而需要修改, 这并不是过分的推测”。<sup>[16]</sup>

具体地说, 按照伊巴谷任务的主要负责人 Kovalevsky 教授在1984年所作的归纳<sup>[2]</sup>, 在一旦取得了比目前要多一百倍且精度达 $0''.002$ 的恒星视差, 和把FK5星表的4,000颗恒星扩展

到一个均匀系统中精度为 $0''.002$ 的100,000颗恒星以后,将可以利用这些资料研究以下十个方面的课题:

### 1. 太阳系

——利用改进了的星表位置对历来的基本观测(地球自转、月掩星等)进行重新归算,并且也可以提高今后的地面观测精度;

——利用改进了位置精度的定标星,进一步提高对小行星、冥王星等的定位精度。这对动力学参考系的研究是很重要的。

——对小行星、大行星或卫星等掩星的归算提供一个更好的参考系。

### 2. 恒星的绝对光度

——利用伊巴谷卫星的视差测量资料以改进各种不同类型恒星的绝对光度(例如碳星、双星、亚矮星、金牛座 T 星、天琴座 RR 型变星、微弱的早期星、佛耳夫-拉叶星等);

——HR 图中 F、G 和 K 型星的精细结构;

——光度函数;

——亚矮星的研究;

——其他。

### 3. 恒星质量

由于光学的或者分光双星的视差精度有了显著的提高,并且轨道的要素也得到了更好的测定,双星中知道恒星质量的星数预计至少能够增加十倍以上。

### 4. 恒星的演化

对研究恒星演化起关键作用的一些种类的恒星进行专门的测量和研究(热亚矮星、盾牌座  $\delta$  变星、佛耳夫-拉叶星、金牛座 T 星、密近双星、药蕈型变星、白矮星、碳星等)。此外还有:

——具有化学特性的星;

——晚型白矮星的演变;

——主序前星的演变;

——年轻星;

——星族 II 矮星;

——亚巨星;

——不同类型和等级的“标准星”;

——其他。

### 5. 双星和聚星

——食双星的物理结构;

——四边形型星;

——激变变星;

——共生星;

——对双星系统的统计研究;

——其他。

## 6. 变星

- 在星等观测中寻找新的变星；
- 各种不同类型变星的物理条件（盾牌座 $\delta$ 星、耀星、激变变星、脉动变星等）。

## 7. 星团

- 毕[宿]星团的动力学研究以得到一个三度空间的图象；
- 疏散星团的动力学和距离方面的研究（昴星团、后发星座等）；
- 星协的结构和演变。

## 8. 银河系的结构

有不少建议都要求将大批恒星包括在伊巴谷的观测计划之中，以对银河系的结构作研究：

- 奥尔特常数和银河系的自转；
- 麦哲伦(星)云的自行；
- [银]晕族恒星和中介星族的恒星；
- 高银纬星；
- 高速星；
- 局部谷德带系统；
- 贫金属星运动学的特点；
- Eggen移动星群；
- 研究银河系结构为目的的早型星；
- 恒星的诞生地点；
- 恒星速度的分布状态；
- 恒星的运动学和化学成份；
- 银河系中区域性的密度状态。

## 9. 距离尺度

- 依据依巴谷任务得到的精确视差，对宇宙的距离尺度重新进行定标，
- 造父和天琴RR型星的定标；
  - 依巴谷和地面观测两者所得视差的比较；
  - 行星状星云的距离；
  - 对几种典型种类的恒星进行定标；
  - 毕星团的定标；

## 10. 参考系

将依巴谷参考系连接到下列的系统上去：

- FK5的星；
- 射电星；
- 对小行星的观测；
- 类星体近旁的恒星。

## 五、空间时代的天体测量学

依巴谷任务的实施表明天体测量学的发展已进入了一个崭新的历史阶段——空间时代的天体测量学。

天体测量学致力于天体的位置、运动、距离、大小和几何方面的测量。它是天文学中最早发展起来的一个领域。也可以说，早期天文学的主要内容就是天体测量学。在十六世纪以后，由它系统积累起来的大量观测资料，为天体力学的创立准备了条件。直至上世纪末，天文学实际上只包括天体测量学和天体力学这两个主要的分支。人类对宇宙的认识也只限于用天体测量得来的知识。所以，天体测量学在历史上曾经为整个天文学的发展起过非常重要和积极的作用。

自从本世纪以来，情况有了变化。天体物理学的问世和其后的迅猛发展，说明现代天文学的发展已不再象以往那样依赖于天体测量学的发展了。天体测量学的发展也就不再受到以往那样的关注。五十年代以后空间技术的发展，似乎更进一步加强了这种趋向。因为只有天体物理学在空间观测中得到了如此迅猛的发展，开辟了一系列新的研究领域，诸如行星学，紫外、X射线和 $\gamma$ 射线天文学等。但是，人类关于宇宙的一些最基本的知识，仍然依赖于天体测量的手段，因为并不存在一种其他的手段来代替它。这包括恒星的质量、恒星和星系的距离和尺度，以及银河系本身的运动学甚至于动力学问题等。又如在用光谱或照像的方法测量遥远天体的距离时，用视差法对邻近恒星的距离进行精确的测定，仍然是测定天体距离的定标基础。对测定恒星的质量来说也是如此。需要对一些典型的双星进行视差和相对运动的精确测定，以作为测量恒星质量的定标基础。

依巴谷任务的实施，说明在空间时代，天体测量学能够在缩短1—2个数量级的时间内测定几十万颗恒星的位置、自行和视差，而且对这些要素测定的精度又能比地面观测提高近两个数量级。在上述第四节中初步介绍了这样一批测量结果对天文学研究所能作出的贡献。它有力地说明了，在今天空间时代，天体测量学仍然可能对整个天文学的发展起到重要的推进作用。

空间天体测量学的发展前景是鼓舞人心的。美国NASA天空望远镜(Space Telescope)的天体测量照相机将于1988年前后投入实际使用。其他几个雄心勃勃的空间天体测量计划，诸如第二个依巴谷卫星，空间长焦距望远镜(Long Focus Telescope in Space)，空间干涉测量(Space Interferometry)和轨道距离远至土星的依巴谷卫星<sup>[17]</sup>等，也都在积极地筹划或者酝酿。依此，一些更令人鼓舞的研究课题也正在提出。凡此种种都说明了，天文学家已重新认识到，要在天文学上占据领先的地位，在天体测量学的研究上先取得突破还不失为一种行之有效的研究途径。正是基于这一点，不少先进国家已越来越注意到空间天体测量学的发展。

我国的天体测量界是一支有成绩的队伍。多年来在发展老、新技术和开展相应的理论研究上都已取得了不少成绩。但是，在当前如何迎接和参加到这个空间天体测量学的发展洪流

中去, 还是一个需要研究和部署的重大问题。

致谢

本文的写作得到了法国J.Kovalevsky教授热情的帮助, 特此致谢。

### 参 考 文 献

- [1] Lacroute, P., Transactions of the IAU, Vol. XIII B, ed. by I. Perek, Prague, (1968).
- [2] Kovalevsky, J., Prospects for space stellar astrometry, (1984).
- [3] Delhaye, J., The scientific aspects of the Hipparcos space astrometry mission, European Space Agency, p.8, (1982).
- [4] Lacroute, P., The scientific aspects of the Hipparcos space astrometry mission, European Space Agency, p. 3-12, (1982).
- [5] Roddier, F., *J. of Optics*, 10 (1979), 299.
- [6] Shao, M., in Modern Astrometry, IAU Coll. No.48, ed. by F.V. Prochazka and R. H. Tucker, Vienna, (1979).
- [7] Lindegren, L., *Astr. and Astroph.*, 89 (1980), 41.
- [8] Hog, E., *Zeich. fur Astroph.*, 89 (1968), 41.
- [9] Brunner, F. K., in Sun and Planetary System, 45, ed. by W. Fricke and G. Teleki, Reidel Publ. Co., Dordrecht, (1982).
- [10] Teleki, G., in Sun and Planetary System, 455. ed. by W. Fricke and G. Teleki, Reidel. Publ. Co., Dordrecht (1982).
- [11] Sugawa, C. and Kikuchi, N., in Refractional Influences in Astrometry and Geodesy, 103, ed. by E. Tengstrom and G. Teleki, Uppsala, (1979).
- [12] Hugues, J. A., in Refractional Influences in Astrometry and Geodesy, 13, ed. by E. Tengstrom and G. Teleki, Uppsala, (1979).
- [13] Danjon, A., in *Astronomie Generale*, 2nd edition, ed. by A. Blanchard, Paris, (1980).
- [14] Teleki, G., in Refractional Influences in Astrometry and Geodesy, 5, ed. by E. Teng Strom and G. Teleki, Uppsala, (1979).
- [15] Kovalevsky, J. and Yatskiv, Ya., in Sun and Planetary System, ed. by W. Fricke and G. Teleki, D. Reidel. Publ. Co., Dordrecht, (1982).
- [16] E. S. A., HIPPARCOS Space Astrometry, Report on the phase A study, ESA document SCI (79) 10 (1979).
- [17] Bernacca, P. L., in The F. A. S. T. Thinkshop, ed. by P. L. Bernacca, (1983).

(责任编辑 林一梅)

## Scientific Objectives of HIPPARCOS Space Astrometry Mission for Astronomy

Li Zhengxin

(Shanghai Observatory, Academia Sinica)

### Abstract

The ESA astrometry satellite HIPPARCOS will be launched in the first part of 1988 or later. A brief review of the history and the development of this project is given in the paper. The scientific objectives of the mission are introduced. The paper emphasizes that space astrometry will play an important role in the progress of modern astronomy.