

空间天体测量新进展

凌兆芬 萧耐园

(南京大学天文系 南京 210093)

摘 要

主要评述依巴谷卫星的成功与不足,评介近年来一系列新的空间天体测量技术,着重评介罗默(Roemer)计划和波因次(Points)计划的新进展。

关键词 天体测量 — 宇宙飞行器

1 引 言

本世纪 80 年代末,依巴谷卫星的发射,哈勃空间望远镜的升空,标志着古老的地面天体测量进入空间天体测量时代。从此天体测量摆脱了长期影响其观测精度的大气折射的干扰,天体测量精度提高 1 至 2 个数量级,这在天体测量发展史上是一个划时代的飞跃。

依巴谷卫星预计在离地球约 36000 km 的地球同步轨道中观测 2.5 年至 3 年。观测星数为 12 万颗,极限星等 13mag,位置、视差和年自行的观测精度均为 $0''.002^{[1]}$ 。但是当它在 1989 年 8 月发射时,由于卫星远地点火箭助推器点火失败,卫星没有能进入预计的圆形地球同步轨道,而运行在一个过渡的椭圆轨道上,当时众多天文学家为此担忧,但依巴谷卫星不负众望,在椭圆轨道上整整观测 4 年,到 1993 年 8 月才完成它的历史使命。比原计划观测寿命长。对它前 30 个月资料的计算(表示为 H30)^[2]。从其结果和对最后星表(表示为 HIP)的外推结果,得到恒星位置、自行和视差的精度如下表所示,表中的 σ 表示平均形式标准误差。

表 1 表明依巴谷卫星的观测结果具有很高的内部精度,此外,利用所得观测结果与现有最精密的地面光学观测或对于射电星的 VLBI 观测作比较,符合程度十分令人满意。例如 H30 中某些星的星位与 USNO 的 Mark III 恒星光干涉仪的星位比较,对某些亮星差值在 10—20mas 范围之内。这同时证实了依巴谷观测和光干涉观测的可靠性。对 H30 中射电星的观测,用于连接依巴谷与河外参考系,其中 7 颗的观测结果,表明中误差为 2.1mas。若对更多的射电星进行观测,预期结果为 1.2mas。FK5 的自行的标准误差估计值约 $1\text{mas}\cdot\text{yr}^{-1}$,H30 与之比较,差值的分布是非高斯型的,有一个宽度约 $2.5\text{mas}\cdot\text{yr}^{-1}$ 的弥散,期望差值为 $1.7\text{mas}\cdot\text{yr}^{-1}$ 。视

国家自然科学基金资助项目

1995 年 8 月 25 日收到

差的结果在更大的程度上证实了 H30 的高质量, 与星团距离、分光视差、照相视差和动力学视差的广泛比较, 确定 H30 视差的零点精确到 0.1mas 以内, 其形式误差精确到百分之几。

表 1 H30 的形式标准误差及 HIP 的预期精度

| 参 量 | H30 | HIP | 单位 |
|----------------------------------|---------|---------|----------------------|
| 近似星数 | 107,500 | 118,000 | |
| 平均历元, J1900+ | 91.14 | 91.24 | yr |
| $\sigma_{\alpha \cos \delta}$ | 1.17 | 1.17 | mas |
| σ_{δ} | 0.96 | 0.95 | mas |
| $\sigma_{\mu\alpha \cos \delta}$ | 1.65 | 1.51 | mas·yr ⁻¹ |
| $\sigma_{\mu\delta}$ | 1.35 | 1.22 | mas·yr ⁻¹ |
| σ_{π} | 1.45 | 1.45 | mas |

对于初始星表多方面的探讨, 表明最后的依巴谷星表的空前的精度和可靠性将是极高的。与依巴谷计划同时, 利用依巴谷卫星上的恒星测绘仪在两个频道 (B 和 V) 上计数光子, 测定恒星的位置和光度, 这构成了第谷计划。现已归算了前 30 个月的观测^[3], 占据全部计划 80% 的任务。这为第谷计划全部 10⁶ 颗恒星的星位、自行和视差提供了一个工作星表。通过其中 10⁵ 颗与 H30 共同恒星的比较, 得到其星位和周年视差的外部符合小于 0.5mas, 单星偶然误差, 对于星表的中央星等 10.5mag 约 30mas。

依巴谷和第谷计划的成功, 具有划时代的意义。它可以看成开创观测天文新纪元的首要的一步。从此可以对更暗弱更大量的天体从事更高精度的天体测量, 并包含多色测光。正是基于这样的设想, 人们提出了罗默计划, 这将在后面讨论。

依巴谷计划的成功, 激励着天文学家更有信心去继续拓展空间天体测量的新领域, 改进依巴谷卫星的不足, 拓宽空间天体测量的研究范畴, 一个个目标更加宏大、功能得到改进的新的天体测量计划在美国和欧洲相继提出。正在进行理论论证、仪器研制和模拟计算。在 21 世纪, 更新颖、更精密的空间天体测量卫星, 空间天体测量干涉仪都会一个一个登上高空。预计空间天体测量学将会有更大的突破。从事这方面研究是很有意义的工作。

本文中主要介绍并评述依巴谷计划的不足之处; 新的空间天体测量计划如罗默计划和波因茨计划 (空间干涉仪) 的新进展。

2 依巴谷计划

依巴谷卫星是一颗专用于天体测量的卫星, 它的基本光学系统参数见表 2。它的扫描观测和光学观测原理见参考文献 [4,5]。卫星原计划观测寿命为 2.5 年、观测星数为 120000 颗恒星, 极限星等为 13mag, 位置、视差和年自行的观测精度均为 2 mas。1989 年 8 月, 卫星发射时未能进入圆形地球同步轨道, 在椭圆过渡轨道上观测, 直至 1993 年底。1991 年根据前 16 个月的观测资料所作的初步归算^[6], 精度达到原计划要求。这大大振奋了欧洲、美国的天文学家。1994 年又根据前 30 个月的观测资料编算了两个初步星表, 已如前述。依巴谷计划将为建立高精度惯性参考系作出巨大贡献, 也将为研究视差、距离尺度以及银河系结构、银河系动力学提供大量有价值的观测资料。依巴谷卫星是天体测量从地面基地进入空间领域的里程碑。

表 2 光学系统基本参数

| 主要部件 | 基本参数和尺度 |
|------------|---|
| 望远镜结构 | 全反射施密特 |
| 视场 | $0^{\circ}.9 \times 0^{\circ}.9$ |
| 焦距 | 1400 mm |
| 基本角 | 58° |
| 主镜口径 | 290 mm |
| 表面精度 | $\lambda/60\text{ms}$ |
| 主探测器 | 析像管 (IDT) |
| 瞬时视场 | $38''$ |
| 取样频率 | 1200 Hz |
| 自转轴与太阳方向夹角 | 43° |
| 自转速率 | $168.75\text{arcsec} \cdot \text{s}^{-1}$ |

依巴谷卫星望远镜的主探测器为析像管 (IDT)。IDT 具有中等的空间分辨率，以区别不同星像和排除来自背景和非纲要星的光线。主栅格的再成像是通过一组中继光学透镜进入 IDT 的光阴极而实现的。由光阴极产生的电子图像被聚焦在一金属屏上，然后由一个直径为 $38''$ 的瞬时视场采样这种电子图像。当卫星扫描观测时，主视场中任一瞬间有平均星数 4 至 5 颗，其变化从 0 到 10。而 IDT 的瞬时视场，借助于磁偏转线圈移动，通过整个视场。瞬时视场在主视场中极其迅速地在星像之间移动，进行采样，采样频率为 1200s^{-1} 。在大约 2s 的时间内，可采样 2560 个，采样率极其快速。但不管探测器采样如何快速，它仍不是绝对同时观测，这 2560 个样品作为同时观测资料其间存在误差。这是 IDT 无法克服的缺点，它只能是准同时观测，而且只能观测一颗星。并且，在瞬时视场外部的星光不能完全排除。在与瞬时视场中心相距 $1'$ 时，测量的衰减因子为 10^{-3} 到 10^{-6} ，这种现象称之为“慢闪耀”。当一颗非常亮的星和暗星同时出现在视场内时，暗星的观测就会受到影响。

恒星测绘仪的探测器为光电倍增管 (PMT)^[7]，它的缺点和 IDT 一样，在某一时刻只能观测一颗星，并且量子效率低、视场小、几何稳定性也不太好。天文学家为依巴谷卫星的成功而喜悦，同时也为依巴谷卫星的不足之处在继续认真努力改进中，从而为开拓新的技术、新的领域、推进空间天体测量向更深更广的方向发展。

3 罗默计划

第一颗依巴谷卫星 (简称 H-1) 发射以后的几年内，天文学家又相继提出多个新的空间天体测量计划。1991 年 6 月在莫斯科召开的“ETALON”卫星国际研讨会上首次提出于 1999 年发射第二个依巴谷计划 (简称 H-2)^[6]。预期观测寿命为 3 年。主要观测目标是：(1) 对 H-1 的 120000 颗星求自行。由于时间跨度已达 10 年，而且在各自历元上位置精度至少 2mas ，因此，自行精度可达到 $0.3\text{mas}\cdot\text{yr}^{-1}$ ，(2) 测定约 4×10^5 颗恒星位置和视差，其精度约为 1mas ，年自行精度为 1mas ；(3) 相应的第谷计划，测定 2×10^6 颗恒星的 4 色 (BUVR) 星等、位置、视差和自行，其平均精度为 14mas 。其中 100 万颗星与 H-1 的第谷计划结合可得自行精度为 $5\text{mas}\cdot\text{yr}^{-1}$ 。1992 年又提出利用 CCD 作为调制探测器的 H-2 计划^[8]，它的光学效应比 H-1 使用的析像管 (IDT) 至少高 1000 倍以上，测量 15×10^6 颗亮于 14mag 的恒星，预期在 2.5 年任务期间，对于到 10mag 星的天体测量参数，精度达到 0.5mas ，并且进行精确的多色测光。

在 H-2 中由于用 CCD 作为探测器, 比 H-1 中的 IDT 不仅量子效率高, 而且能同时观测许多星。记录和资料处理都很简便, 而且迅速。关于 H-2 和使用 CCD 作为调制探测器的 H-2 计划已在其他论文中有详述 [6], 这里不赘述。我们这里主要介绍罗默计划。

罗默计划是丹麦天文学家 Høg 于 1992 年 9 月在上海召开的 156 次 IAU colloq 上提出的新的空间天体测量计划 [9], 其目的是进行精确的天体测量和多色测光。原计划相当于 H-1 中的第谷计划, 在改进后大为扩展, 而取代了 H-2 和 H-2(CCD) 计划。观测寿命为 5 年, 观测星数约为 4×10^8 颗, 极限星等 $V=18\text{mag}$, 可测定 2kpc 远的恒星光度。可测空间比 H-1 大 10000 倍。对于亮于 12mag 的恒星位置和视差精度约 0.1mas, 年自行约为 0.05mas。

罗默计划的卫星望远镜观测光学原理与 H-1 类似, 望远镜口径也为 0.29m 与 H-1 相同。它与 H-1 主要不同点在于使用 CCD 作为主探测器, 这里的 CCD 探测器比 H-2 使用的 CCD 又前进了一步。H-2 使用的 CCD 作为一种调制探测器, 就是把 H-2 的调制栅格成像在 CCD 上, 相当于将探测器加上刻度盘。只用于对栅格调制过的光强度进行测量, 起着相当于高灵敏度的光电倍增管的作用, 通过调制栅格定位置, 不要求 CCD 高的分辨率和方位稳定度。而罗默计划中的 CCD 探测器是镶嵌在射束联合望远镜的焦平面上, 代替 H-1 中的调制栅格, 这里是矩形 CCD 块探测器, 垂直于卫星扫描观测方向。一个像素宽度为 $0''.22$, 相当于 $5\mu\text{m}$, 要求望远镜焦距长至少为 4.7m, 可观测空间比 H-1 大 10000 倍。

图 1 显示罗默计划中卫星 CCD 探测器的探测系统 [9], 由 13 个相同的 CCD 薄片组成, 安装在与弯曲焦平面相吻合的高稳定性的框架上, 其中 8 个薄片在宽光谱波段测量, 另 5 片用于 5 色测光 (UBVIR)。每个薄片 CCD 又由一宽一窄的 CCD 镶嵌而成, 窄的 CCD 薄片含有 $256\text{pixel} \times 64\text{pixel}$, 可提高灵敏度; 宽的 CCD 薄片包含 $4096\text{pixel} \times 1024\text{pixel}$, 用以提高分辨率。这种结构在目前 CCD 制造中是非常先进的。当卫星扫描观测时, 恒星以 $168''\text{s}^{-1}$ 的速度穿过视场, 经过每一个 CCD 薄片, 对于视场中所有星像同时观测。星像穿过一个像素, 对应 1.3ms, 穿过一个宽的 CCD 薄片, 电荷积分时间为 5.3s, 每 1.3ms 采样一次。读数记录器在每个 CCD 片的右边, 对每个像素进行记录。但是, 通常以 4 个竖直像素电荷

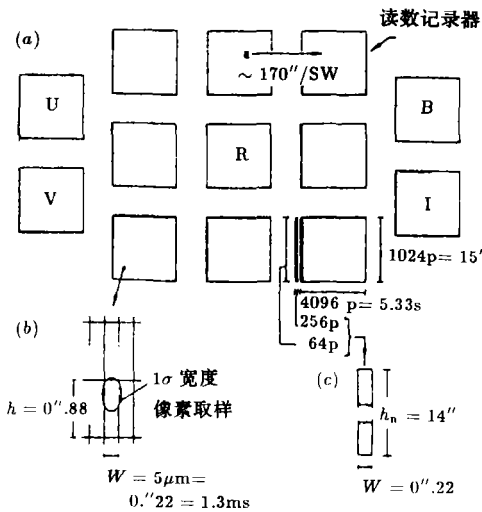


图 1 罗默计划中 CCD 结构示意图 [9]

叠加计数。对于 13 个 CCD 片和 4×10^8 颗纲要星, 每秒经过视场的星像有 48000 个样品读数, 资料庞大, 但处理方便。

在一个宽的 CCD 薄片, 采样用 4 个竖直像素计数, 主要为了对所有亮的参考星进行观测。因为其观测精度足以满足卫星姿态测定的要求, 所以无需再用 H-1 中的恒星测绘仪观测来决定卫星的姿态了。

罗默计划的观测天空、观测星数、观测星等、观测精度比前面几个依巴谷计划又有很大

提高, 见表 3。罗默计划的测量结果如此之好, 主要是使用了成像 CCD 探测器, 利用 CCD 的像素位置对星像精确定位。由于现代科学的飞速发展, 在短短的 20 多年时间内, CCD 已成为摄像、信号处理、存储三大领域最前沿的应用器件, 尤其是作为摄像器件应用, 已成为现代光学电技术和测量技术中最活跃最富有成就的新兴领域。光电技术的进步, 工艺水平的提高, 足以制造出像素分布十分均匀的 CCD 器件, 加之罗默计划的卫星内部结构十分稳定, 因而在与 H-1 同样口径望远镜情况下, 可获得 4×10^8 颗星的高精度结果。同时把人们的视野一下子推向 2kpc 远的宇宙空间, 可测空间比 H-1 大一万倍, 许多低空间密度天体, 如 O 星和 B 星、超巨星、特殊金属星、造父变星、天琴座 RR 星、疏散星团等都可以观测。它们距离的精确测定, 将可以大大改进我们对恒星光度和宇宙的认识。对所有这些天体都可以获得高精度自行和空间速度, 这能使我们对银河系动力学进行研究。罗默计划观测的恒星每平方度有 2500 颗星^[9], 这样的高密度高精度网络, 将可建立一种有毫秒级精度的天球参考系, 并对建立空间惯性参考系作出巨大贡献。

1994 年 H ϕ g 提出了对原罗默计划的修改方案^[10], 他称之为罗默⁺。按照这个方案, 将把卫星的反射望远镜的口径扩大到 70cm。预期的目标更加雄心勃勃。例如, 对于视差的精度拟达到 $10\mu\text{as}$, 对于年自行, 以 11mag 为例, 仅仅通过 2.5 年的观测将要比原罗默计划提高精度 6 倍。极限星等将达到 20mag, 在此星等上也能得到 1mas 的位置精度。中央波段的测光精度, 即标准误差约 0.003mag 或更小, 这一精度对于视星等 6—16mag 的所有恒星都能获得。所设想的远景目标列于表 4。同时列出依巴谷计划的结果以资比较。

表 3 4 种计划主要参数比较

| | H-1 | H-2 | H-2(CCD) | Roemer |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 主镜口径 (cm) | 29 | 40 | 29 | 29 |
| 焦距 (m) | 1.4 | 1.93 | 1.4 | 4.7 |
| 视场 ($^{\circ}$) | 0.9×0.9 | 0.9×0.9 | 0.9×0.9 | 0.9×0.9 |
| 探测器 | IDT | IDT | CCD | CCD |
| 观测时间 (yr) | 2.5 | 3 | 2.5 | 5 |
| 极限星等 (mag) | 12 | 13 | 14 | 18 |
| 观测星数 | 12×10^4 | 4×10^4 | 15×10^6 | 4×10^8 |
| 位置精度 (mas) | 2 | 1 | 0.5 | 0.1 |
| 视差精度 (mas) | 2 | 1 | 0.5 | 0.1 |
| 自行精度 (mas) | ~ | 1 | 0.5 | 0.05 |
| 可测距离 (kpc) | 0.1 | | | 2 |

表 4 罗默⁺的精度及与依巴谷、第谷的比较

| 计划名称 | 星数 | 星等 | 位置精度 /mas | | | | 自行 /mas.yr ⁻¹ | 视差 /mas |
|-----------------|-------------------|--------|-----------|------|------|------|-----------------------------|------------|
| | | | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | | |
| 罗默 ⁺ | 1×10^6 | V~11 | | | 0.01 | 0.1 | 0.01 | 0.01 |
| 罗默 ⁺ | 2×10^8 | V~17 | | | 0.20 | 2.0 | 0.20 | 0.20 |
| 依巴谷 | 1.2×10^5 | V~13 | 1.5 | 1.5 | 30 | 4.5 | 1.5 | 1.5 |
| 第谷 | 1×10^6 | V~10.5 | 30 | 40 | 70 | 100 | 3 | 30 |

拟议中的罗默计划具有极大的潜力, 它可以以上述精度对数十亿个天体进行测光和天体测量。它在探测暗弱天体上的作用令人刮目相看。例如已提出^[10]用它探测大质量天体物理晕族致密天体 (MACHO), 预计在其任务期间, 将观测 300 个这类起相对论光增强作用的大质量天体。

4 波因茨 (Points) 计划

Points 是 (Precision Optical Interferometer in Space) 的缩写, 即空间精密光学干涉仪。这个计划起源于本世纪 70 年代中期, 哈佛大学斯密松天体物理天文台台长 Irwin Shapiro 首先提议, 后经斯密松天体物理中心的天文学家 Reasenberg 和 Keto Soosaar 等人多次合作试验, 成为现在波因茨计划的前身。目前, 这个计划的理论论证和模拟试算已基本完成; 部分器件已在研制, 但两架高精度空间光学干涉仪的制造, 在工艺和经费上仍有一定困难, 如果一切顺利的话, 预计在 2006 年前后发射。

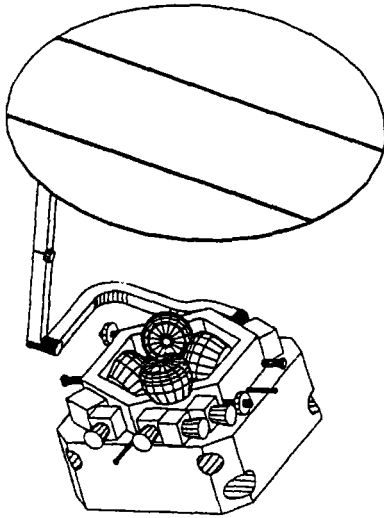


图 2 波因茨飞船外形示意图图^[12]

波因茨计划将开拓天体物理的新的研究领域, 并能改变过去在一些老领域中有疑问的问题的性质。基于两个任务的观测要求, 波因茨计划的观测寿命为 10 年, 观测约 1500 颗围绕恒星-行星质心运动的恒星的位置及其变化, 最后的目标是探测另一个太阳系。

波因茨计划是一种具有 2m 长基线、光轴相互垂直的地球轨道天体测量光干涉仪对。测量天空中相距约 90 度角的星对之间的角距离, 测量精度为 $5\mu\text{as}$ 。图 2 是波因茨飞船用于天体测量观测的外形示意图, 仪器是在 4.8m 直径的太阳罩阴影中。波因茨仪器的主要参数见表 5。

波因茨仪器将对天文研究提供了一种强有力的新型的多方面研究工具^[11], 它含有一种独立的 Michelson 恒星干涉仪, 和以激光计量标准为基础的计量系统。它的任务包括两个方面: 一是 ASEPS (astronomical search for extrasolar planetary systems) 即对外太阳系的探测; 另一个是 AIM (astrometric interferometry mission), 即天体测量干涉仪任务, 它将提出更广泛的天体物理任务, 其范围从造父变星的距离尺度到银河系的质量, 特别是它的测定星系的能力。

表 5 波因茨仪器的主要参数

| 类 型 | 参 数 | 值 |
|-----|--------------------|-----------------|
| 干涉仪 | 恒星干涉仪数目 | 2 |
| | 基线长度 | 2m |
| | 子孔径直径 | 35cm |
| | 子孔径中心掩星 (暗区) | 15cm |
| | 光子探测几率 | 15% |
| 分光仪 | 棱镜角 (度) | 35 |
| | 轴外抛物线长度 | 27cm |
| | 条纹数 | 5 |
| 测量 | 探测器阵长度 | 512 pixels |
| | 测量的不确定性 | $5\mu\text{as}$ |
| | 对于 10mag 星的观测时间 | 2 min |
| | 观测速率 (对于行星系统的探测时间) | 350 观测 / 天 |

波因茨计划测量相距 90° 角距的天空星对，比依巴谷卫星所观测星对角分离 (58°) 还要宽。这种宽的天体分隔可能导致更广阔天空的天体测量，并且，宽的星对分离有三方面主要优点：(1) 在天体测量资料方面有利于校准在 360° 的闭合测量中所得的信息；(2) 对于所选择的目标星，有大量的参考星可使用；(3) 视差测定是绝对的，并且对于缺少附近参考星的目标星，也能进行观测。但是，要测定如此宽的空间星对角分离，存在着一定困难，但这个疑难问题被简化成两个较易解决的问题：(1) 第一步测定两个干涉仪光轴之间的角距，而干涉仪光轴的位置是由所有传送星光的光学元件的位置决定的；(2) 高精度的恒星位置是相对于干涉仪光轴测定的。由波道谱决定从目标星到经过干涉仪两边的射束分离器的光程差，再由光程差决定恒星相对于干涉仪的精确偏离。将 (1) 和 (2) 两者相加便得到星对间的角分离，见图 3。图 3 中两根相互垂直的直线代表干涉仪两根相互垂直的光轴， s_1 ， s_2 代表两颗星， Δ_1 ， Δ_2 表示 s_1 ， s_2 对光轴的偏离， φ 表示两轴夹角，若测得 φ ， Δ_1 ， Δ_2 (Δ_1 ， Δ_2 带符号，图中 Δ_2 为负值)，则两星之间的角分离 θ 为：

$$\theta = \Delta_1 + \Delta_2 + \varphi \quad (1)$$

目标星对的恰当选择和 φ 的很小的调节能力 ($87^\circ \leq \varphi \leq 93^\circ$)，使星对同时接近于各自的干涉仪光轴，一旦一颗目标星进入干涉仪，其 δ 是通过弥散条纹分析处理得到。若一颗恒星在干涉仪光轴上，则它的 $\delta = 0$ 。干涉仪光轴的位置测定到大约 $10 \times 10^{-12} \text{m}$ 的精度，它包括每个干涉仪中星光光程差的平均变化及所有光学元件的所有运动和畸变。

高精度的计量主要采用全瞳孔计量术 (full aperture metrology, 缩写 FAM)^[11]，这种计量方法有三个主要优点：(1) 减少了复杂性；(2) 更接近于改正量；(3) 提供了定义干涉仪基线方向的依据。由于每个干涉仪都能高稳定地得到弥散条纹，因此，能利用积分探测器 CCD；CCD 有高的量子效率，并且在空间探测方面有越来越广泛的应用。这里使用的光子效率为 50%，并与波长无关。

5 哈勃空间望远镜 (HST)

在 HST 上的主要天体测量仪器是精密导星传感器 (FGS)。它是一个白光干涉仪，在 HST 上主要用于卫星飞行姿态控制和导星，但同时进行天体测量方面的精密视差和自行测定。HST 在发射以后出现了一些问题，FGS 暂时未做正规的天体测量工作，而只是一直在控制其性能和做天体测量工作能力的测试。在几个 FGS 中，FGS3 显示出在长时期天体测量工作方面具有最优越的性能，在诸如视差工作上具有极高的精度和稳定性。最近，对于半人马座比邻星巴纳德星

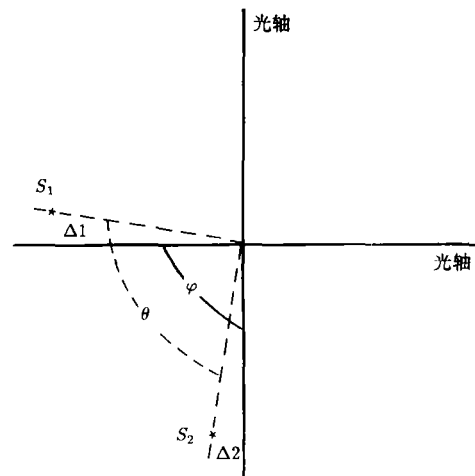


图 3 星对的角分离示意图

各约一年半的观测的处理结果显示，视差的精度能达到 0.5mas ^[13]，这比当今世界上用 CCD 进行的毫角秒级的地面视差测量更好，而且只化一半到三分之一的的时间。FGS 的优点还在

于它的视场比通常的照相底片或 CCD 要大得多, 可达 $3'.5 \times 14'$; 它的星等动态范围可达 $4\text{mag} \leq V \leq 17\text{mag}$; 它可以对于密近双星获得精确的视差以及可以快速地得到结果; 为天体物理的研究目的, 它可以几乎同时求出其他天体物理量的测量值。有鉴于此, 正在考虑它的应用范围, 把它用到测量经典造父变星、仙后座 SU 星和天琴座 RR 星。用于测定极其遥远的年轻白矮星的距离和光度 (及其闪变), 为当前活跃的一个研究领域——星震学提供资料。用于测定毕星团里双星的视场并确定它们的质量等等。

HST 上的另一个天体测量仪器是行星照相机 (PC)。FGS 观测中的限制是操作上的“序列性”, 不适于同时测量大量恒星。而 PC 则不然, 已用于球状星团成员的自行^[13], 例如杜鹃座 43, M13, M22, NGC 6752, M15 等。PC 包含 4 片 $800\text{pixel} \times 800\text{pixel}$ 的 CCD, 比例尺为 $0''.043 \cdot \text{pixel}^{-1}$ 。相对星位测量的预期精度为 $\pm 1\text{mas}$, 即 $1/40$ (pixel)。这样, 通过五年前后的两次曝光, 就能以 $\pm 0.3\text{mas} \cdot \text{yr}^{-1}$ 的精度测定星团成员的自行, 这个值远小于球状星团速度的内禀弥散值。

6 飞速发展的空间天体测量

从依巴谷卫星到波因茨计划, 表明了空间天体测量的探测技术在飞速发展, 空间天体测量的意义和目的不断加深和扩展, 主要表现在以下几点:

(1) 探测器从光电倍增管、析像管到 CCD 的更换, 使得观测天空、观测星数、观测精度、极限星等, 有惊人的进展, 尤其 CCD 作为摄像器件应用, 已成为现代光电技术和测量技术中最活跃最富有成就的新兴领域。它可以同时观测视场中所有的星, 一次观测上千颗星像, 再不需要像析像管、光电倍增管那样, 一颗一颗探测取样。因此, 它比析像管显示出极大的优越性, 同时 CCD 作为底片与光电倍增管相比有高量子效率, 宽光谱范围、宽动态范围、低噪声、高光度精度等优点。CCD 集底片的广视场和光电倍增管的高精度于一身, 作为探测器

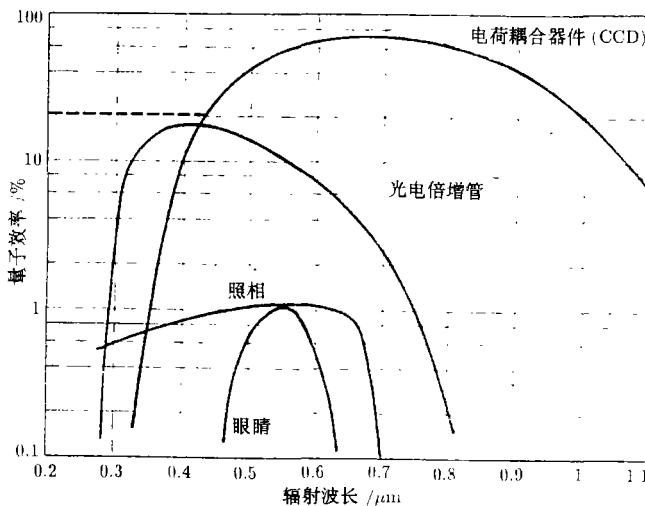


图 4 四种探测器的比较

使用是目前最先进的测光技术。图 4 显示了四种探测器的比较，表 3 也显示出 H-1，H-2，H-2(CCD)，罗默计划，观测参数的差异。

(2) 依巴谷是一颗专用于天体测量的卫星，它的科学目的旨在建立一个高精度的空间参考系，罗默计划的意义不仅能建立比依巴谷参考系更均匀更精密的天球参考系，而且可观测多种星，并进行多色测光，向天体物理的研究领域延伸和扩展。波因茨计划，使用空间光干涉仪的高分辨率，高定位精度，将可测量太阳系以外的一个或多个新太阳系，发现新世界。

(3) 目前国际上对罗默计划、波因茨计划，正在深入研究和设计，预计在 20 世纪初都将先后实现。这将对空间天体测量、天体物理方面研究作出巨大贡献。迄今我国在空间天体测量方面，仅有少数人作一些理论研究，基本处于空白。我们呼吁天文界领导和专家引起注意，采取一些相应措施。否则，我们将远远落后于国际形势的发展。

(4) 空间天体测量的发展，必须得到地面精密天体测量的配合。我们看 H30 的结果，不论星位、自行或视差都在与有关地面观测的比较中得到关于其精确性(外部符合)和系统稳定性的验证，尤其重要的是为空间天体测量编制输入星表，空间参考系与已有的射电参考系、恒星参考系或动力学参考系的联结，某些物理量的零点或比例尺的标定，都离不开地面天体测量的成果。因此，在开展空间天体测量结果的应用研究方面，当前我们可以结合我国的实情，继续从事和发展地面精密天体测量工作。如上海天文台业已开展的射电星的光学位置的测定，用 1.56 m 天体测量望远镜从事暗星测量，以连接高精度参考系；云南天文台用即将装备的低纬子午环和陕西天文台用水平子午环进行的基本天体测量工作，都是与空间天体测量相配合的重要课题。

参 考 文 献

- [1] Perryman M A C. ESA.SP-1111, 1989, 1 : 7
- [2] Lindegren L. In : Høg E, Serdelmann P K eds. Astronomical and astrophysical objectives of sub-milliarcsecond optical astrometry, Proc.of IAU symp. No.166, Hague, 1994, Dordrecht: Kluwer, 1995: 55
- [3] Høg E. In: Høg E, Serdelmann P K eds. Astronomical and astrophysical objectives of sub-milliarcsecond optical astrometry, Proc.of IAU symp. No.166, Hague, 1994, Dordrecht: Kluwer, 1995: 61
- [4] 凌兆芬, 空间科学学报, 1991, 1 : 308
- [5] Perryman M A C, Høg E et al. Astron. Astrophys. 1992, 258 : 1
- [6] 肖耐园, 凌兆芬, 须同祺等. 天文学进展, 1993, 11 : 70
- [7] 凌兆芬, 肖耐园, 须同祺等. 天文学进展, 1992, 10 : 300
- [8] Høg E, Lindegren L. In: Mueller I, Kolaczek B eds. Developments in astrometry and their impact on astrophysics and geodynamics, Proc of IAU symp. No.156, Shanghai, 1992, Dordrecht: Kluwer, 1992: 31
- [9] Høg, E. In: Mueller I, Kolaczek B eds. Developments in astrometry and their impact on astrophysics and geodynamics, Proc of IAU symp. No.156, Shanghai, 1992, Dordrecht: Kluwer, 1992 : 37
- [10] Høg E, Novikov I D, Polnarev A G. In: Høg E, Serdelmann P K eds. Astronomical and astrophysical objectives of sub-milliarcsecond optical astrometry, Proc. of IAU Symp. No.166, Hague, 1994, Dordrecht: Kluwer, 1995: 393
- [11] Reasenberg R D, Babcock R W et al. A. J., 96: 1731
- [12] Reasenberg R D et al. The proc. of SPIE's technical conference #2000 on amplitude & intensity spatial intensity spatial interferometry II, Kona, Hawaii, USA, 1994: 1
- [13] Benedict G et al. In: Høg E, Serdelmann P K eds. Astronomical and astrophysical objectives of sub-milliarcsecond optical astrometry, Proc. of IAU Symp. No.166, Hague, 1994, Dordrecht: Kluwer, 1995: 89
- [14] Girard T M et al In: Mueller I, Kolaczek B eds. Developments in astrometry and their impact on astrophysics and geodynamics Proc of IAU symp. No.156, Shanghai, 1992, Dordrecht: Kluwer, 1992: 101

[15] Kristian T, Blouke M. 刘彩品译, 郭凯声校. 科学, 1994, 2: 30

(责任编辑 刘金铭)

New Progress in the Space Astrometry

Ling Zhaofen Xiao Naiyuan

(*Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Abstract

The techniques for the space astrometry developed in recent years are introduced. The new progress in Roemer mission and Points mission are reviewed.

Key words astrometry—space vehicles