

银河系英仙臂的距离

徐 焯[†]

(中国科学院上海天文台 上海 200030)

摘 要 以地球轨道半径为基线,借助目前世界上最高分辨率的甚长基线干涉阵(VLBA),通过测量英仙臂中大质量恒星形成区 W3OH 的三角视差,得到了银河系中距离太阳最近的英仙臂的距离为 1.95 ± 0.04 千秒差距 (5.86×10^{16} km)。这个工作解决了天文学中关于英仙臂距离的长期争论,说明英仙臂显示强的运动学反常。

关键词 VLBA,脉泽,三角视差,大质量恒星形成区,银河系结构

Distance of the perseus spiral arm in the Milky Way

XU Ye[†]

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

Abstract The distance to the massive star-forming region W3OH in the Perseus spiral arm of the Milky Way has been measured to be 1.95 ± 0.04 kiloparsecs (5.86×10^{16} km), determined by triangulation using the Very Long Baseline Array with the Earth's orbit as one segment of a triangle. This resolves a long-standing discrepancy of a factor of two. The reason for the discrepancy is that this portion of the Perseus arm has anomalous motions.

Keyword Very Long Baseline Array, maser, trigonometric parallax, massive star-forming region, galactic structure

众所周知,大质量恒星形成区及与其成协(即这些天体两两或更多相距较近并有物理联系)的亮的 HII 区能够勾勒出星系的旋臂结构。但由于太阳处在银河系内部,使我们很难看到银河系的旋臂结构。可谓是不识庐山真面目,只缘身在此山中。原则上,我们能够以太阳到银心的距离为基本参数建立银河系旋转曲线的模型。然后通过测得旋臂上恒星和气体的视向速度,将观测与模型相比较,就可以确定天体的距离,即所谓的运动学距离。知道了恒星形成区的距离,就可以给出它们的三维空间分布并建立银河系旋臂结构的“平面视图”。但在此过程中往往会出现很多问题,比如(1)我们很难建立一个精确的转动模型(这需要太阳到银心的距离及绕银心的轨道运动速度);(2)银河系中一些区域的运动学距离的不确定性(即难以区别这个源是在近运动学距离还是远运动学距离上);(3)漩涡结

构的非圆运动。对于前两个问题已经有了一些解决方法,比如运动学距离的不确定性可以通过对氢吸收的干涉测量来解决,因为对遥远的天体来说氢吸收线的速度范围要比那些近距离的天体大^[1]。但是第三个问题却很难解决。

英仙臂是银河系外太阳圈中距离太阳最近的一条旋臂,如图 1^[2,3]。在英仙臂上有大量的恒星形成区,人们已经根据 O 型星的光度测定了它们的距离。在银纬 132° — 138° 这些恒星区的光度距离(即根据恒星的视星等,光度和距离之间的联系得到的距离)约为 2.2 kpc ($1 \text{ pc} \approx 3 \times 10^{13} \text{ km}$)^[4],但它们的运动学距离却要大的多。因为这一区域中的恒星和

2006-04-26 收到初稿 2006-05-25 修回

[†] Email: yxu@shao.ac.cn

1) 本地静止标准是在太阳位置绕银河系中心转动的一个参考系。通常,LSR 是指太阳附近空间范围内恒星的平均运动。

气体的视向速度为 $-45\text{km/s}(\text{LSR})^{[1]}$, 假设银河系的转动速度为 220km/s , 并且与到银心的距离无关, 太阳到银心的距离为 $8.5\text{kpc}^{[5]}$, 那么这一区域的运动学距离应该大于 4kpc . 这个巨大的差异导致了激烈的争论, 即这个区域究竟是运动学反常还是光度距离不正确, 这是个至今仍未解决的问题.

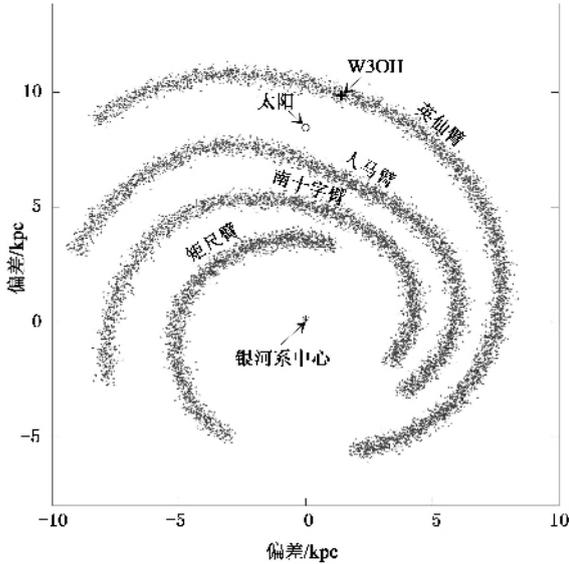


图1 从北银极俯视银河系的“平面图”(图中标出了文献[2, 3]中已认证的旋臂的位置, 以及太阳, 银心和 W3OH 的位置)

英仙臂的位置矛盾可以通过精确测定此旋臂中大质量恒星形成区的距离来解决. 而天文学中测量距离最好并且最可信的方法就是三角视差. 周年视差是由于地球绕太阳的轨道运动所引起的天体位置的变化, 它可以通过目标源相对于遥远天体(如类星体)的位置变化来测定. 简单地视差就是一年内天体视位置偏离其平均位置的最大角距离. 天体的视差通常是很小的, 比如, 一个距离为 2kpc 的天体, 其视差只有 0.5mas (毫角秒).

已知源的视差 π , 就可以根据三角视差的公式: $D(\text{kpc}) = 1/\pi(\text{mas})$ 得到源的距离 D . 如果我们要测量一个距离为 2kpc 的源, 使其精度达到 10% , 则要求视差的测量精度满足 0.05mas , 这样的测量精度应该可以确定英仙臂的距离. 然而目前天文学中最高的测量精度是依巴谷(Hipparcos)卫星获得的, 只有 $1\text{mas}^{[6]}$, 远远不能满足我们的要求.

英仙臂上的大质量恒星形成区 W3OH 是三角视差测距的理想候选体, 它位于银经 134° 且靠近 O 型星协. W3OH 有很强的甲醇脉泽辐射^[7], 这是一种宇宙微波激射分子. 脉泽斑由于其小和亮且相对稳定的特征而成为射电天体测量的理想目标. 在观测过

程中, 我们利用美国国家射电天文台的甚长基线干涉阵(VLBA) 10 个天线同时进行观测, 天线最长基线达到 $8.6 \times 10^6\text{m}$, 观测精度达到 0.01mas , 这是有史以来天体绝对距离测量的最高精度, 测量结果解决了长期困扰大家的英仙臂距离的问题. 同时对验证银河系密度波理论提供了很有价值的信息.

为了测量 W3OH 相对于类星体的位置变化, 我们在一年内对 W3OH 和三个河外致密射电源(类星体)做了 5 个历元的观测, 每个历元的观测时间 8 小时. 观测日期为 2003 年 7 月 30 日, 10 月 21 日, 2004 年 1 月 30 日, 4 月 23 日和 7 月 25 日. 这些日期刚好是正弦三角视差信号的峰值和零点. 这种观测方法使我们能够将由银河系自转投影以及 W3OH 和太阳的本动所引起的线性自行运动与正弦视差效应区别开来.

我们采用快速摆动的观测模式, 即在目标源 W3OH 和 3 个背景源之间按 W3OH, J0235 + 622, W3OH, J0231 + 628, W3OH, J0230 + 621 的顺序依次观测, 每 40 秒换一个源, 望远镜指在源上的时间大约是 30 秒. 观测采用相位参考技术, 以甲醇脉泽源作为相位参考源, 这是因为它比背景源亮且单基线观测信噪比好于 100.

为了得到 W3OH 的视差和自行, 自行是指恒星在一年内沿着垂直于视线方向走过的距离对观测者所张的角度, 其单位为角秒/年, 我们对最强的 9 个脉泽斑和 3 个背景源的 5 个历元下的亮度分布分别做二维高斯拟合. 图 2 给出了一个脉泽斑相对于 3 个类星体的位置随时间的变化, 明显可以看出这种变化显示出正弦波动. 这些视差信号用 5 个参数, 一个视差和每个坐标下的两个线性自行的分量来拟合, 拟合的结果非常好.

用三个背景源所得到的视差值随脉泽源和背景参考源的角距离稍微有一点增大, 这说明由大气所造成的系统误差并没有被完全消除. 但是, 在只有三个背景源的情况下, 我们很难评估大气产生的影响到底有多大. 为了补偿大气产生的系统误差, 我们引入了视差的系统误差 0.007mas , 则视差的表达式为 $0.512 \pm 0.007(\text{统计误差}) \pm 0.007(\text{系统误差})\text{mas}$. 统计误差和系统误差是相互独立的, 以二次式合并的结果为 $0.512 \pm 0.010\text{mas}$, 即 $1.95 \pm 0.04\text{kpc}$. 这个结果解决了 W3OH 的运动学距离(4.3kpc)和光度距离(2.2kpc)之间存在巨大差异的问题. 光度距离与三角视差的结果基本一致, 这说明 W3OH 是强烈运动学反常的.

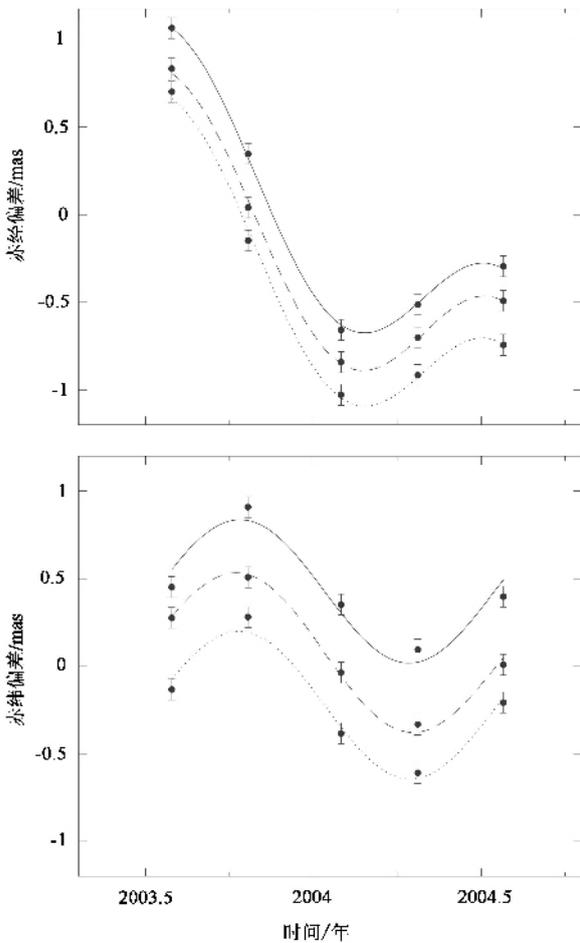


图2 参考脉泽斑(图2中(0,0)点)相对于三个背景源的位置随时间的变化(W30H和每个背景源之间大的位置偏差已经消除,在每个图中,上中下三类数据分别表示相对于背景源 J0230+621, J0231+628 和 J0235+622;曲线是使用5个参数的拟合:一个是视差,以及每个坐标的两个自行分量,这个图的(0,0)点是赤经 $\alpha(J2000)=02\ 27\ 03.8192$;赤纬 $\delta(J2000)=61\ 52\ 25.230$)

我们同时得到赤经和赤纬方向的平均自行分别为 -1.204 ± 0.02 和 -0.147 ± 0.01 mas/每年,这个不确定值是平均值的标准误差,在距离 1.95kpc 处相当于 0.2km/s. 假定脉泽的内部运动速度为 3 公里/秒,则取每个分量的标准误差为 1km/s,即自行精度为 1km/s.

我们已经证明在一年时间内进行 5 次观测,甚长基线干涉阵能够达到的视差精度为 0.01mas 且自行精度好于 1km/s. 因此,对处在 10kpc 距离处的天体,我们能够获得的距离精度好于 10%,大约是依巴谷卫星测量精度的 100 倍. 我们的工作已经发表在国际权威刊物 Science 上^[8]. 同时 Science 在同一期专门撰文,认为这个工作开创了天文学中三角视差测量天体距离的新纪元^[9]. 由此起步,利用甚长基线干涉阵,人类将能够确定银河系的旋臂结构和大质量恒星形成区的运动学特征.

参 考 文 献

- [1] Fish V L, Reid M J, Wilner D J *et al.* *Astrophys. J.* 2003, 587 701
- [2] Georgenlin Y M, Georgenlin Y P. *Astron. Astrophys.*, 1976, 49 57
- [3] Taylor J H, Cordes J M. *Astrophys. J.*, 1993 411 674
- [4] Humphreys R M. *Astrophys. J. Supp.*, 1978 38 309
- [5] Kerr F J, Lynden-Bell D. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 1986, 221 1023
- [6] Perryman M A C *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1997 323 :L49
- [7] Menten K M, Reid M J, Moran J M *et al.* *Astrophys. J.*, 1988, 333 183; Moscadelli L, Menten K M *et al.* *Astrophys. J.*, 1999 519 244
- [8] Xu Y, Reid M J, Zheng X W *et al.* *Science*, 2006, 311 :54
- [9] Binney J J. *Science*, 2006, 311 44

封面说明

封面是类似银河系的星系 M81, 它的旋臂清楚可见. 然而, 因为我们处在银河系内部, 我们无法看到它的旋臂结构. 精确描绘银河系的旋臂结构至今仍然是一个巨大的挑战. 在解决了一系列挑战性难题以后, 徐烨等使用三角视差精确地测定了银河系内英仙臂的距离, 详细情况请看本期第 623 页文章.

(中国科学院上海天文台 徐烨)