第 50 卷 第 2 期 天 文 学 报 Vol.50 No.2
2009 年 4 月 ACTA ASTRONOMICA SINICA Apr., 2009

利用新编依巴谷天体测量资料研究银河系运动*

沈 鸣† 张 鸿†

(南京大学天文系 南京 210093)

摘要 根据最近发表的新编依巴谷星表数据，重新研究了经典造父变星周光关系零点问题. 利用运动学模型对自行数据和视向速度分别拟合奥尔特常数及本地静止标准的旋转速度，得到太阳的银心距 $R_0 = 8.0 \pm 0.8$kpc. 从太阳附近的旋转曲线，发现银河系盘的引力势具有弱椭圆分布的迹象. 通过一个简单的非对称模型，得到太阳附近盘引力势的椭率 $\epsilon(R_0) = 0.067 \pm 0.036$, 其短轴指向 $\phi_{\rm b} = 32^\circ \pm 15^\circ$.

关键词 天体测量，天体 (星) 表，银河系：盘：变星：造父变星，银河系：结构

中图分类号： P 126; **文献标识码**： A

1 引言

依巴谷计划作为欧空局第一个天体测量卫星，其主要目的是精确测定天体参数，包括位置、自行和三角视差，精度在毫角秒水平. 观测结果于 1997 年 6 月正式发表，并被广泛地应用于天文学研究的各个领域.

经典造父变星以其精确的距离尺度，高亮度以及低速度弥散度等特征，成为研究银河系运动学的一类重要天体. 由于最近的造父变星距离太阳也在 100 秒差距以上，在依巴谷卫星之前，没有任何有效的方法来测量造父变星的三角视差，周光 (PL) 关系的零点只能用间接方法来确定，如采用 Baade- Wesselink 技术通过疏散星团和星协中的造父变星来得到周光关系的零点. 由于依巴谷星表提供了造父变星的三角视差观测资料，使得我们有可能直接用一种几何方法来确定周光关系的零点.

依巴谷卫星数据公布后不久， Feast & Catchpole (FC) 利用依巴谷造父变星三角视差资料，得到周光关系的零点比以前结果亮 0.2 等 [1]. 之后一些作者重新研究了依巴谷造父变星数据，并对 FC 的结果作出了质疑 [2]. 后来的研究工作做出的零点问题校正与之前的地面结果类似，甚至更暗. 在没有依巴谷卫星前，造父变星周光关系的零点只有 0.1 等的差异，而从同样的依巴谷卫星视差数据导出的零点却覆盖了 0.4 等的范围，其中的原因可能非常复杂，但依巴谷经典造父变星视差的测量精度依然起了关键性作用.

2008-08-11 收到

* 国家自然科学基金 (10673005) 资助项目

† shenming@nju.org.cn, zhangh@nju.edu.cn

依巴谷资料处理是基于同步轨道卫星的设计基础上的, 但由于技术上的原因, 卫星最终运行在近地点为 500km, 远地点为 36, 500km 的椭圆轨道上. 在依巴谷星表 (ESA 1997) 发表后, 很多研究人员指出, 星表可能存在一些与卫星在不同高度的扫描姿态有关的系统差问题 [3]. 考虑到这些问题, van Leeuwen 等人经过多年的努力, 对依巴谷原始数据进行了重新归算 [3,4]. 2007 年底正式出版了新编依巴谷星表 [5,6]. 新编依巴谷星表的天体测量精度大为提高, 特别是对亮星部分, 其天体测量精度提高了 2—4 倍 [5]. 新依巴谷资料精度的提高, 大大唤起了我们对利用这些经典造父变星资料, 重新研究银河系运动学的兴趣.

在依巴谷星表发表之前, 由于自行观测精度水平的限制, 造父变星的视向速度资料是研究运动学问题的最主要资料. 基于这些视向速度数据, Caldwell & Coulson 利用轴对称运动模型 [7], 得到奥尔特常数 A 和太阳的银心距 R_0 的组合值 $2AR_0 = 228 \pm 19\mathrm{km\ s^{-1}}$. Pont 等人用类似方法对 278 颗经典造父变星的视向速度分析 [8], 给出了 $A = 15.92 \pm 0.34\mathrm{km\ s^{-1}kpc^{-1}}$, $R_0 = 8.09 \pm 0.30\mathrm{kpc}$, 并且获得太阳运动的两个分量 $u_0 = 9.32 \pm 0.80\mathrm{km\ s^{-1}}$, $v_0 = 11.18 \pm 0.65\mathrm{km\ s^{-1}}$.

对 48 颗位于太阳圈外的经典造父变星的研究 [9], Pont 等人获得的银河系旋转速度值明显小于 IAU 1985 年推荐值 ($\Theta_0 = 220\mathrm{km\ s^{-1}}$). 随着依巴谷观测数据的发表, 由高精度自行所给出的横向速度测定精度水平, 在 1—2kpc 范围内, 与视向速度精度水平相当. 因而, 利用造父变星的自行资料来研究银河系运动学参数便成为可能. 特别需要一提的是 Feast & Whitelock 的工作, 他们利用依巴谷造父变星自行所给出的 Oort 常数几乎与 IAU 1985 推荐值完全相符 [10], 尽管该结果与同类研究所获得的奥尔特常数相差甚大 [11−13].

作为银河系薄盘星族的经典造父变星, 其天体测量资料和视向速度资料等, 提供了非常重要的银河系结构、演化、运动学和动力学信息. 根据新编依巴谷数据并结合视向速度资料, 我们力求深入分析银河系在太阳附近的运动学参数, 包括奥尔特常数、本地静止标准的旋转速度 Θ_0 、太阳的银心距 R_0 等. 结合动力学模型, 考察银河系盘引力势的可能分布情况.

2 样本选取与距离尺度

近几十年来, 大量关于造父变星的光谱和光度观测结果分别发表于众多的文章中, 数位研究者整理和发表了有关造父变星的测光和视向速度资料, 为我们目前的工作提供了方便.

以新编依巴谷星表中的 249 颗造父变星为样本, 结合 Pont 等人、 Mishurov 以及 Metzger 等人收集和整理的造父变星测光及视向速度资料 [8,14,15], 经交叉认证后得到了 215 颗天体测量、测光和视向速度资料完整的造父变星. 由于依巴谷卫星观测周期较短, 我们从样本中删除了双星及一些疑似双星.

经典造父变星标高很小, 紧贴银道面. 由于银道面附近存在大量星际物质, 在计算距离的时候必须考虑星际消光的影响. 造父变星的可见光波段的绝对星等与光变周期有

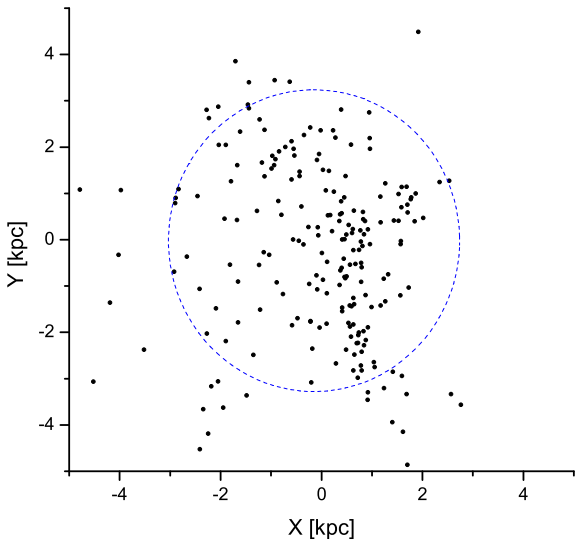

图 1　215 颗经典造父变星在银河系 X-Y 平面上的投影位置. 原点处为太阳. 大部分样本分布在离太阳小于 3kpc 的圈内.

Fig. 1　Positions of 215 classical cepheids in the Galactic X-Y plane. The sun lies on the origin. Most samples distribute in the circle no further than 3kpc from the sun.

如下关系:

$$< M_v >= \alpha \log P + \rho_0 \,, \tag{1}$$

而绝对星等与视星等又有如下关系:

$$< m_{\rm v} > - < M_{\rm v} >= 5 \log d - 5 + A_{\rm v} \,, \tag{2}$$

其中, $< M_{\rm v} >$ 是造父变星的平均绝对星等, P 是以天为单位的光变周期, $< m_{\rm v} >$ 是平均视星等, d 是由视差数据得到的距离, $A_{\rm v}$ 是红化改正. 由于周光关系的斜率相对准确, 我们在此固定斜率 $\alpha = -2.81 \pm 0.06$, 这个值是由 Caldwell & Laney 在 1991 年对大麦哲仑星云中的 88 颗造父变星分析后得到的目前公认较佳的值 [16].

综合考虑到视差精度和测光精度等影响, 采用 FC 类同的方法 [1], 根据 27 颗对周光关系零点具有最大权贡献的造父变星的分析, 我们得到新的零点的估计值 $\rho_0 = -1.37 \pm 0.07$, 这个结果比 FC 利用老依巴谷视差数据所得到的零点值 ($\rho_0 = -1.43 \pm 0.10$) 要略暗. 在下面的工作中, 新测定的零点值将作为造父变星距离尺度计算的依据. 需要指出的是, 零点的测定是一个非常复杂的工作, 其结果不仅依赖于新编依巴谷三角视差的精度, 而且对样本的选取也十分敏感. 双星和含谐变周期的变星 (overtone-pulsator) 对零点的估计值有很大的影响. 例如, 为了与 FC 的结果比较, 在我们采用的 27 颗星中, 包含了离我们最近的 α Umi. 如果剔除这颗星, 所得到的零点将会更暗 ($\rho_0 = -1.30 \pm 0.09$). 限于本

文的篇幅和内容，我们无法深入讨论零点测定的方法和问题等内容．有关零点问题的研究工作将另行成文.

由新确定的周光关系零点，就可以求出绝对星等 $< M_{\rm v} >$, 进而求出离太阳的距离：

$$r = 10^{[0.2(<m_{\rm v}>-<M_{\rm v}>-10)]}\,. \tag{3}$$

图 1 给出了 215 颗含完备运动学资料的造父变星在银道面上的分布.

3 轴对称模型

由我们从一个简单的模型开始．假设旋转曲线是轴对称的，一个银心距为 R 的天体在离太阳 r 的地方以速度 Θ 绕银心旋转, 其银道坐标为 (ℓ, b). 与此同时太阳在离银心 R_0 的地方以速度 Θ_0 绕银心旋转，太阳相对本地静止标准的速度可以记为 (u_0, v_0, w_0), 这三个速度分量分别指向银心，太阳处的银河系旋转方向以及北银极.

作为薄盘星族的经典造父变星，它的标高值通常很小，如 Kraft & Schmidt 得到的造父变星标高为 70pc[17]. 因此我们可以采用一个薄盘的运动学模型来描述造父变星的运动．那么从造父变星的自行数据可以得到反应太阳附近银河系较差旋转和刚性旋转的奥尔特常数．定义奥尔特常数 A 和 B 为：

$$A = -\frac{1}{2}R_0(\partial\Omega/\partial R)_0\,, \tag{4}$$

$$B = -\Omega_0 - \frac{1}{2}R_0(\partial\Omega/\partial R)_0\,. \tag{5}$$

其中 Ω 是角速度，下标 $'0'$ 表示在太阳附近．在太阳附近，如果将银河系速度场作一级近似展开，则有：

$$\kappa\mu_\ell\cos b = (u_0\sin\ell - v_0\cos\ell)/r + A\cos 2\ell\cos b + B\cos b, \tag{6}$$

$$\kappa\mu_b = (u_0\cos\ell\sin b + v_0\sin\ell\sin b - w_0\cos b)/r - \tfrac{1}{2}A\sin 2\ell\sin 2b\,, \tag{7}$$

其中常数 $\kappa = 4.74047$, 自行单位是 mas yr^{-1}, 恒星距离 r 单位是 kpc. $(u_0,\, v_0,\, w_0)$ 则是太阳本动的三个分量，其单位为 km s^{-1}.

从造父变星的视向速度数据，有如下关系 [8]:

$$v_{\rm r} = \Theta_0(\frac{R_0}{R} - 1)\sin\ell\cos b - u_0\cos\ell\cos b - v_0\sin\ell\cos b - w_0\sin b - \delta v_{\rm r}\,. \tag{8}$$

上式中 $\delta v_{\rm r}$ 是视向速度可能存在系统误差，稍后将对此作讨论．恒星的银心距 R 由下式给出：

$$R = (R_0^2 + r^2\cos^2 b - 2R_0 r\cos\ell\cos b)^{\frac{1}{2}}\,. \tag{9}$$

如前所述，造父变星主要分布在薄盘上，因此太阳本动中指向北银极的速度分量无法由视向速度求出． 1998 年 Dehnen & Binney 分析依巴谷星表中的主序星，得到 $w_0 = 7.2 \pm 0.4$km s^{-1} [18]．在下文涉及视向速度数据的分析过程中， w_0 将被固定为上述测定值.

由图 1 我们可以看出，大部分造父变星均分布在距太阳 3kpc 以内，只有 43 颗星的日心距大于 3kpc. 由于我们的条件方程 (6)—(8) 式是速度场的一级近似，在较大的地方可能会引入较大的误差，因此在拟合过程中我们将这些较远的星排除. 考虑到恒星速度弥散度对近距星自行的影响，在处理过程中我们设置了不同的距离下限作为比较. 采用类似文献 [19] 的方法，我们在下面的处理过程中，自动剔除了速度残差大于 2.6σ 的样本，以保证排除本动速度过大或速度测量误差过大的星对计算结果的影响.

对方程 (6) 、(7) 的自行数据和方程 (8) 的视向速度数据，分别用最小二乘法进行拟合，就可解得奥尔特常数 A 和 B 及太阳附近银河系旋转速度 Θ_0, 进而求出银心距 R_0. 太阳附近的银河系旋转曲线为 [9]:

$$\Theta(R) = R\Omega\,, \tag{10}$$

其中,

$$\Omega = (\frac{v_{\rm r} + v_{\odot}}{\sin\ell\cos b} + \Theta_0)\frac{1}{R_0}\,, \tag{11}$$

这里 $V_{\odot}$ 为太阳本动速度在视线方向上的投影.

4　拟合结果

如前所述，我们对三个观测方程进行拟合. 通过自行数据拟合 (6) 、(7) 式得到的结果列在表 1 中. 需要注意的是，在通过方程 (8) 处理视向速度数据时，首先给 R_0 赋一个初值，令 $R_0 = 8.0$kpc. 这样 Θ_0 在拟合过程中作为一个参数可以解得. 再结合由自行数据拟合得到的奥尔特常数 A 和 B, 就可以得到一个新的的估计值. 如此反复迭代，当最后收敛时，即可得到 R_0 的最终估计值. 视向速度的拟合结果以及最终 R_0 的估计值列在表 2 中. 在两个表中， S1 表示对日心距在 $0.1 \sim 3.0$ kpc 之间的所有样本的解算结果，S2 表示对日心距在 $0.2 \sim 3.0$ 之间的样本的处理结果，以此类推. 表中的第 2 行为参与计算的样本总数，第 8 行表示被剔除的大速度残差星的总数.

从表 1 我们可以看出，解 S1 和解 S2 之间存在明显差异，而最终样本只差一颗星 α Umi. 这颗造父变星离太阳很近，本动异常巨大，并对结果造成相当大的影响. 因此我们把剔除了 α Umi 的 S2 作为结果来讨论. 我们所获得的奥尔特常数 B 几乎与 Feast & Whitelock 利用老依巴谷自行资料得到的奥尔特常数 $B(B = -12.4 \pm 0.6$km s^{-1}kpc$^{-1})$ 完全相符，但奥尔特常数 A 则明显大于 Feast & Whitelock 的结果 ($A = 14.8 \pm 0.8$km s^{-1}kpc^{-1})[10]. 银河系旋转的角速度 Ω_0 与多数现代测量结果相符甚好, 例如, Reid & Brunthaler 利用 VLBA 精确测定 Sgr A* 绝对自行, 给出 $\Omega_0 = A - B = 29.58 \pm 0.14$km s^{-1}kpc^{-1}, 其中假设 $R_0 = 8.0$kpc[13]. 最近， Yuan 等人分别利用 O-B 型星和 K-M 型巨星的新依巴谷自行数据，得到银河系旋转角速度 Ω_0 值也与我们现在的结果相符合 [20].

表 1 由依巴谷造父变星自行数据拟合到的运动学参数太阳本动 (u_0, v_0, w_0) 单位是 km s^{-1}, 奥尔特常数 A 和 B 的单位是 km s^{-1}kpc^{-1}

Table 1 Kinematical parameters derived from proper motions of the Hipparcos cepheids, where units of the solar motion (u_0, v_0, w_0) are in km s^{-1}, the Oort constants A and B are in km s^{-1}kpc^{-1}

Solutions	S1	S2	S3	S4	S5
r(kpc)	$(0.1 \sim 3.0)$	$(0.2 \sim 3.0)$	$(0.3 \sim 3.0)$	$(0.4 \sim 3.0)$	$(0.5 \sim 3.0)$
Total No.	172	171	169	166	161
u_0	15.70 ± 0.98	12.58 ± 1.09	10.14 ± 1.14	9.33 ± 1.26	8.58 ± 1.33
v_0	18.78 ± 01.07	14.52 ± 1.06	14.07 ± 1.09	17.07 ± 1.20	15.31 ± 1.30
w_0	6.24 ± 0.91	8.98 ± 0.98	9.24 ± 1.00	9.20 ± 1.11	8.85 ± 1.23
A	18.32 ± 1.29	17.42 ± 1.17	17.78 ± 1.12	19.00 ± 1.12	18.17 ± 1.14
B	-11.15 ± 0.93	-12.46 ± 0.86	-12.82 ± 0.82	-11.38 ± 0.84	-11.91 ± 0.85
Rejected No.	7	6	7	6	6

利用视向速度资料, 除了可以求得太阳本动速度在银道面上的两个分量之外 (表 2), 同时求得银河系旋转速度 Θ_0. 而 $\delta v_{\rm r}$ 则可能反映了太阳附近的某种收缩或膨胀运动, 也可能是视向速度测量中的系统误差引起 [21,22]. 结合 Θ_0 和表 1 中奥尔特常数的测量结果, 太阳的银心距 R_0 便可以从迭代运算中获得, 其值列入表 2.

表 2 由依巴谷造父变星视向速度数据拟合得到的运动学参数, 其中 $u_0, v_0, w_0, \delta v_{\rm r}$ 和 Θ_0 的单位是 km s^{-1}, R_0 单位是 kpc

Table 2 Kinematical parameters derived from radial velocities for Hipparcos cepheids, where $u_0, v_0, w_0, \delta v_{\rm r}$ andΘ_0 are in km s^{-1}, R_0 is in kpc

Solutions	S1	S2	S3	S4	S5
r(kpc)	$(0.1 \sim 3.0)$	$(0.2 \sim 3.0)$	$(0.3 \sim 3.0)$	$(0.4 \sim 3.0)$	$(0.5 \sim 3.0)$
Total No.	172	171	169	166	161
u_0	5.73 ± 0.95	5.75 ± 0.96	5.72 ± 0.96	5.57 ± 0.99	4.04 ± 1.05
v_0	12.07 ± 0.84	12.05 ± 0.84	12.01 ± 0.85	12.09 ± 0.87	12.41 ± 0.94
w_0(set)	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
$\delta v_{\rm r}$	4.23 ± 0.87	4.21 ± 0.88	4.18 ± 0.89	4.26 ± 0.91	4.88 ± 0.97
Θ_0	238.50 ± 11.63	238.54 ± 11.66	238.59 ± 11.73	238.52 ± 11.84	239.75 ± 12.56
R_0	8.09 ± 0.91	7.98 ± 0.79	7.80 ± 0.82	7.85 ± 0.81	7.97 ± 0.81
Rejected No.	10	10	10	10	9

从表 2 可以看出, 由视向速度得到的各组解差别不大. 在此我们选择 R_0 拟合精度最高的 $S2$ 作为估计结果: $R_0 = 7.98 \pm 0.79$kpc$= 8.0 \pm 0.8$kpc. 综合不同方法所获得的大量 R_0 测量值, 经过仔细统计分析后 Reid 建议, R_0 的最佳值为 8.0 ± 0.5kpc[23], 这一建议值与我们现在所测定的结果非常符合. 另外, 现在的结果与我们过去分别采用依巴谷 O-B5 型星和银河系疏散星团的运动学资料所得到的 R_0 值也相符甚好 [24].

取 $R_0 = 8$kpc, $\Theta_0 = 238$km s^{-1}, 太阳本动为 $(12.6, 14.5, 8.9)$km s^{-1}, 根据每颗星的运动学资料我们便可以构建银河系在太阳附近的旋转曲线, 如图 2 和图 3 所示. 其中, 图 3

横坐标 ϕ 为太阳 — 银心、恒星 — 银心间的方位角，它的定义参见文献 [25]. 图 2 中，样本大致分布在 $R = 5 \sim 11$kpc 之间，在这段范围内整个旋转曲线呈现略微下降的趋势，有：

$$\Theta(R) = 246.67 \pm 10.32 - (0.68 \pm 0.13)R\text{km s}^{-1}\,, \tag{12}$$

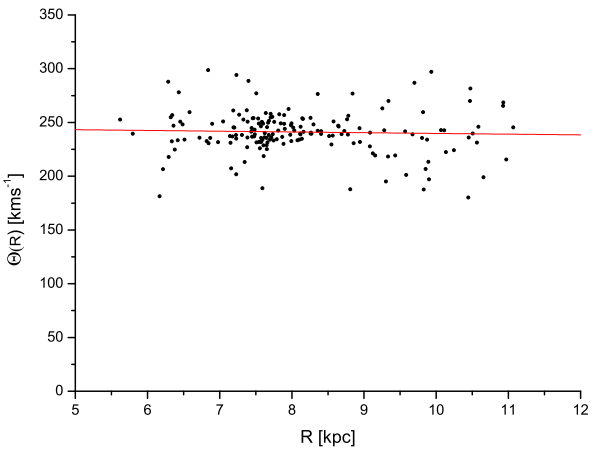

图 2　由经典造父变星得到的相对于银心距 R 的旋转曲线，其中 R_0=8kpc, $\Theta_0 = 238\text{km s}^{-1}$

Fig. 2　The resulting rotation curve about R from classical cepheids with $R_0 = 8$kpc, $\Theta_0 = 238\text{km s}^{-1}$

从图 3 我们可以发现旋转速度左右并不对称，方位角 $\phi \le 0$ 的恒星速度普遍大于方位角 $\phi \ge 0$ 的恒星. 这种现象在疏散星团上同样存在 [25]. 考虑到样本涵盖了大约 60° 的范围，这种现象可能不应是局部的. 我们怀疑这种速度的左右不对称是由一个非轴对称的势引起的. 在此情况下，轴对称运动模型可能无法准确描述银河系的旋转，因此后文将引入非轴对称模型，并对一个近椭圆轨道的情况进行讨论. 在图 3 中，旋转速度与方位角的关系为：

$$\partial\Theta/\partial\phi = -17.5 \pm 6.3\text{km s}^{-1}\text{rad}^{-1}\,. \tag{13}$$

5　非轴对称模型

很多天文学家在研究太阳附近的薄盘星族，如 O-B 型星和经典造父变星时，发现了一种被称为 κ 项的存在 [21,22]. 一般，κ 项被理解为银河系在银道面方向上的本地收缩 (κ 为负值) 或膨胀运动. 当视向速度数据存在某种系统误差时，如视向速度系统的零点误差，那么所描述的恒星速度场便存在非零的 κ 项. 另一方面，如果恒星沿某些非圆轨道运动，那么也存在非零的 κ 项. 也就是说，κ 项可被认为是非轴对称运动存在的证据. Pont 用 N 体模拟方法，证实 κ 项是一种本地动力学效应的结果，它是由一个棒形势所引

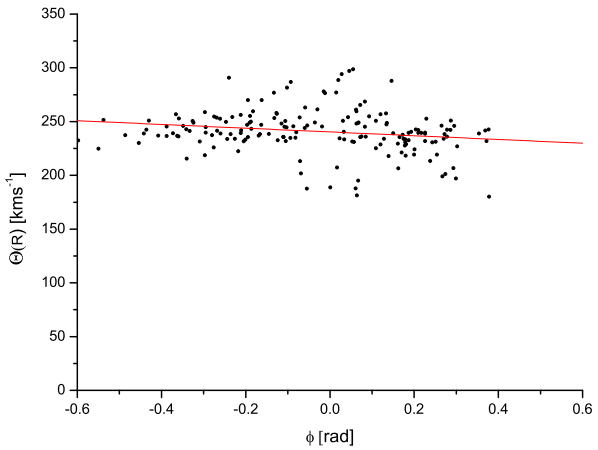

图 3 由经典造父变星得到的相对于方位角 ϕ 的旋转曲线

Fig. 3 The resulting rotation curve about ϕ from classical cepheids

起的非轴对称运动造成 [8]. 因此，我们考虑引入一个基于 Kuijken & Tremaine (KT) 所提出的非轴对称动力学模型 [26].

在一个极坐标系 (R,ϕ) 中，考虑银河系引力势是由一扁平盘的轴对称引力势 $\Phi_0(R)$ 和一个附加的非轴对称微小扰动势所组成：

$$\Phi(R,\phi)=\Phi_0(R)+\Phi_1(R)\cos 2(\phi-\phi_{\rm b})\,, \tag{14}$$

其中 $\Phi_0(R)$ 是主要的轴对称势，上式右边第二项扰动势项使得整个引力势呈近似椭圆状，椭圆的短轴指向 $\phi_{\rm b}$. 根据 KT ，这里引力势跟半径成指数关系：

$$\Phi_0(R)=\frac{\Theta_0^2}{2\alpha}(\frac{R}{R_0})^{2\alpha},\alpha\neq 0\,, \tag{15}$$

$$\Phi_1(R)=\Psi_0(\frac{R}{R_0})^{p},\Psi_0\geq 0\,, \tag{16}$$

恒星圆周运动速度和势的椭率同样与半径成指数关系：

$$\Theta(R)=\Theta_0(\frac{R}{R_0})^{\alpha}\,, \tag{17}$$

$$\epsilon(R)=\epsilon_0(\frac{R}{R_0})^{p-2\alpha}\,, \tag{18}$$

指数 α 表示旋转曲线的形状，其值为零时旋转曲线是平坦的. 而 p 表示的是扰动势的配置情况.

在上述引力势中，天体径向速度和横向速度可以写成如下形式 [15,25]：

$$V_{\rm R}(R,\phi)=\beta_1\Theta(R)[s(R)\cos 2\phi-c(R)\sin 2\phi]\,, \tag{19}$$

$$V_{\phi}(R,\phi)=\Theta(R)[1-\beta_2 c(R)\cos 2\phi+\beta_2 s(R)\sin 2\phi]\,, \tag{20}$$

其中 $\beta_1=\frac{1+p/2}{1-\alpha}$, $\beta_2=\frac{1+p(1+\alpha)/4}{1-\alpha}$. $c(R)$ 和 $s(R)$ 为非轴对称势椭率的两个正交的分量：

$$c(R)=\epsilon(R)\cos 2\phi_{\rm b},\quad {\rm s(R)}=\epsilon({\rm R})\sin 2\phi_{\rm b}\,. \tag{21}$$

当银心距 R_0 、自转速度 Θ_0 和太阳本动速度都已知时，(19) 、(20) 式中的径向速度 $V_{\rm R}(R,\phi)$ 和横向速度 $V_\phi(R,\phi)$ 便可以通过恒星的运动学观测资料来求得. 在下面的工作中，我们分别取 $R_0=8.0{\rm kpc}$, $\Theta_0=238{\rm km\ s^{-1}}$. 太阳本动速度取自 Dehnen & Binney 的研究结果 [18]. 圆轨道运动速度 $\Theta(R)$ 可以根据 (17) 式来计算，而指数 α 是由旋转曲线图 2 的拟合获得的. 当系数 β_1 和 β_2 已知时，理论上，我们便可以通过 (19) 式或 (20) 式来计算出非轴对称势椭率的两个分量 $c(R)$ 和 $s(R)$. 但由于 R_0 和 Θ_0 的不确定性，引起径向速度 $V_{\rm R}(R,\phi)$ 的误差要远远大于横向速度 $V_\phi(R,\phi)$ 的误差. 因此我们舍弃了径向速度，仅使用横向速度资料来求解非轴对称势的椭率.

由于扰动势的配置情况并不知晓，因此参数 p 也未知. 为了讨论的方便，我们采用了 KT 的标准模型 [26], 即令 $\beta_1=\beta_2=1$. 用最小二乘方法来拟合观测方程 (20) 式，得：

$$c(R_0)=0.03\pm0.01,\quad s(R_0)=0.06\pm0.04\,. \tag{22}$$

由这两个分量很容易得到椭率及短轴指向：

$$\epsilon(R_0)=0.067\pm0.036,\quad \phi_{\rm b}=31.7^\circ\pm14.5^\circ\,. \tag{23}$$

文献 [25] 采用银河系疏散星团得到 $\epsilon(R_0)=0.060\pm0.012$, $\phi_{\rm b}=30^\circ\pm3^\circ$, 与我们现在的结果相符合，但前者的估计精度要比我们的结果好许多. 众所周知，银河系疏散星团和经典造父变星均为薄盘星族，都是盘结构 (如旋臂结构等) 最好的示踪天体. 由于疏散星团的天体物理参数 (如自行、视向速度等) 来源于众多成员星的统计平均，其可靠性显然要优于对单颗星 (如造父变星) 的观测结果. 因而，用疏散星团所得到的椭率的估计精度高便容易理解了. 但无论如何，我们现在对造父变星的分析结果. 能再次佐证可能存在的银河系非轴对称结构.

6　结论

新编依巴谷天体测量资料在精度上的改善，为我们提供了重新研究太阳附近银河系运动学和结构的机会. 在本工作之外，我们细致研究了新、老依巴谷系统中恒星的天体测量参数，发现两者之间不存在明显的系统差. 更高精度的观测资料和与老依巴谷系统的一致性是我们开展此研究和分析比较的基础.

基于重新归算过的依巴谷星表数据，结合测光资料和视向速度，利用新的周光关系零点，我们以二百余颗依巴谷经典造父变星为样本，深入开展了运动学分析. 在一个轴对称模型下，通过自行数据得到奥尔特常数：

$$A=17.4\pm1.2{\rm km\ s^{-1}\ kpc^{-1}},\quad {\rm B}=-12.5\pm0.9{\rm km\ s^{-1}\ kpc^{-1}}\,. \tag{24}$$

根据恒星视向速度分析，并结合由自行分析所得到的奥尔特常数，获得太阳附近的

银河系旋转速度及太阳的银心距:

$$\Theta_0 = 238.5 \pm 11.7\mathrm{km\ s^{-1}},\quad \mathrm{R}_0 = 8.0 \pm 0.8\mathrm{kpc}\,. \tag{25}$$

通过太阳邻域银河系旋转曲线的分析, 结合 KT 所提出来的扁平银河系动力学模型[26], 我们得到了太阳附近引力势的椭率和该椭圆状引力势短轴的指向:

$$\epsilon(R_0) = 0.067 \pm 0.036,\quad \phi_b = 32^\circ\ \pm 15^\circ\ . \tag{26}$$

由于新编依巴谷星表中天体测量参数的精度有明显改进, 因而本工作所使用的经典造父变星的运动学资料的精度也是迄今为止最高的, 从而为我们提供了更为可靠的结果.

致谢 感谢朱紫教授在本文写作过程中付出的巨大精力以及大量有益的建议.

参 考 文 献

1 Feast M, Catchpole R. MNRAS, 1997, 268: L1 (FC)
2 Pont F. ASP Conference Series, 1999, 167: 113
3 van Leeuwen F. A&A, 2005, 439: 805
4 van Leeuwen F, Fantino E. A&A, 2005, 439: 791
5 van Leeuwen F. A&A, 2007, 474: 653
6 van Leeuwen F. 2007, Hipparcos, the New Reduction of the Raw Data. Springer, Berlin
7 Caldwell J., Coulson I., AJ, 1987, 93: 1090
8 Pont F, Mayor M, Burki G. AJ, 1994, 285: 415
9 Pont F, et al. A&A, 1997, 318: 416
10 Feast M, Whitelock P. MNRAS, 1997, 291: 683
11 Miyamoto M, Zhu Z. AJ, 1998, 115: 1483
12 Zhu Z. Ap&SS, 2000, 271: 353
13 Reid M J, Brunthaler A. ApJ, 2004, 616: 872
14 Mishurov Y, et al. A&A, 1997, 323: 775
15 Metzger M R, Caldwell J A R, Schechter P L, AJ, 1998, 115: 635
16 Caldwell J A R, Laney C D, IAU Symp. 1991, 148: 249
17 Kraft Robert P, Schmidt Maarten. ApJ, 1963, 137: 249
18 Dehnen W, Binney J. MNRAS, 1998, 298: 387
19 Zhu Z. ChJAA, 2006, 6: 363
20 Yuan F T, Zhu Z, Kong D L. ChJAA, 2008, 28: 714
21 Feast M W. MNRAS, 1967, 136: 141
22 Humphreys R M. A&A, 1972, 20: 29
23 Reid M J. ARA&A, 1993, 31: 345
24 Shen M, Zhu Z. ChJAA, 2007, 7: 120
25 Zhu Z. ChJAA, 2008, 8: 96
26 Kuijken K, Tremaine S. AJ, 421: 178 (KT)

A Kinematical Study for the Galaxy Based on the Revised Hipparcos Astrometric Data

SHEN Ming ZHANG Hong
(*Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Abstract On the basis of the revised Hipparcos data recently released, the zero-point of the PL relation for classical cepheids was reexamined. Fitting proper motion and radial velocity data via an axis symmetric model, Oort constants and circular rotation velocity of the LSR were calculated to obtain Galactocentric distance of the sun, $R_0 = 8.0 \pm 0.8$kpc. From the rotation curve in solar neighborhood, the existence of weak ellipticity of the Galactic potential was found. Adopting a simple asymmetric model, we obtained the ellipticity $\epsilon(R_0) = 0.067 \pm 0.036$ at the sun, while the minor axis pointing to $\phi_{\rm b} = 32^\circ \pm 15^\circ$.

Key words Astrometry, Catalogs, Galaxy: Disk, Variables: Cepheid, Galaxy: Structure