

文章编号: 1000-8349(2005)04-0293-11

Hipparcos 后的昴星团距离

王家骥, 陈 力

(中国科学院 上海天文台, 上海 200030)

摘要: 详细介绍了 Hipparcos 测定的昴星团距离与以往地面测定结果比较所出现的差异、近年来对昴星团距离新的测定和对 Hipparcos 数据作的重新处理以及对造成不一致的原因所进行的探讨, 最后对有关进展加以评述。

关键词: 天体测量学; 距离; 综述; 昴星团; 视差; 赫罗图; Hipparcos 天体测量卫星

中图分类号: P129 **文献标识码:** A

1 引 言

疏散星团是宇宙距离尺度校准的基石之一。毕星团和昴星团, 作为两个离开我们最近而又最容易观测的疏散星团, 在这方面具有特别重要的意义。其中, 由于昴星团是一个比较年轻的星团, 在演化程度上与包含造父变星的更为年轻的疏散星团更接近, 对于造父变星周光关系零点的校准起着特有的作用。在整个 20 世纪中, 对这两个星团距离的测定一直没有停止过, 结果的准确度不断得到改进^[1]。

疏散星团距离测定工作, 按照所采用的方法, 可以分为两大类: 一类采用纯粹几何的方法, 包括三角视差方法和自行会聚点方法; 另一类需要依靠太阳附近场星的距离测定结果以及有关恒星结构和演化的理论模型, 主要是主序拟合法。通过对疏散星团中双星的观测, 采用动力学方法测定距离, 若没有子星轨道运动的视向速度观测数据, 就需要利用恒星的质光关系, 因此仍与恒星模型有关。

需要指出的是, 在地面进行的恒星三角视差测定, 得到的只是相对视差, 必须改正参考星的平均视差, 才能得到绝对视差。参考星的平均视差, 通常根据它们的视星等和银纬由自行统计研究得到^[2], 其中涉及银河系中恒星的光度函数、恒星和消光物质的分布、太阳和恒星的运动。因此, 地面测定的三角视差, 与一定的统计模型有关。

Hipparcos 卫星在太空用三角方法直接测定恒星的绝对视差, 它对近距星团内恒星的观测

收稿日期: 2005-01-06; **修回日期:** 2005-05-10

基金项目: 国家自然科学基金重点基金资助项目 (10333050); 国家 973 资助项目 (G1999075406); 上海市科研计划资助项目 (04ZR14153)

结果,第一次提供了一种可能性,即不借助任何有关这些恒星的化学成分或恒星结构的假定,并且与银河系结构和运动的统计模型无关,准确确定这些星团的距离。把这样测得的距离与主序拟合法获得的结果比较,就可以对恒星结构和演化理论加以非常强有力的检验。

对于毕星团, van Altena 等人^[3]在1997年综合了到那时为止所获得的104颗毕星团成员星地面三角视差测定值,给出加权平均值为 (21.71 ± 0.59) mas (对应于距离模数 (3.32 ± 0.06) mag, 距离46.1 pc)。同年, Perryman 等人^[4]把 Hipparcos 测得的毕星团天区恒星视差和自行与地面观测得到的视向速度结合,得出这个星团内恒星的三维位置和运动,然后考虑星团中心附近半径10 pc (大致等于这个星团的潮汐半径) 内的成员星,得到其质量中心与太阳系的距离为 (46.34 ± 0.27) pc (对应于距离模数 (3.33 ± 0.01) mag)。这一结果与 van Altena 等人给出的结果惊人地相符合。因此,可以认为,毕星团的距离问题已经得到很好的解决。

昴星团的距离比毕星团远了约3倍。在 Hipparcos 的测定结果发表以前,就三角视差而言,只有 Gatewood 等人^[5]在1990年发表的结果具有一定的实际意义。他们根据5颗成员星的视差得出这个星团的平均视差为 (6.6 ± 0.8) mas (对应于距离模数 (5.90 ± 0.26) mag, 距离 (150 ± 18) pc)。大多数人运用主序拟合法确定昴星团的距离,得到的视差数值在7.4~7.8 mas 之间(见文献[6]及其参考文献),通常采用的昴星团距离在125~135 pc 之间^[1],对应的距离模数在5.6 mag 左右。

然而, Hipparcos 测定的昴星团距离,却惊人地比上述地面测定结果近了大约10%。在1997年, van Leeuwen 和 Hansen Ruiz^[6]以及 Mermilliod 等人^[7]分别给出了他们独立处理得到的结果,两者都为8.6 mas。与这一视差值对应的距离是116 pc, 距离模数是5.33 mag。这意味着昴星团恒星的绝对星等比原来的估计要暗大约0.3 mag。如果这样的结果是真实的,那么现有的恒星结构和演化理论就很可能需要作重大的修改,否则,就意味着 Hipparcos 的视差具有可能大到1 mas 的系统误差。

这个问题必须搞清楚。如果是恒星结构和演化理论有错误,那么受影响的不仅是用主序拟合法确定的疏散星团距离,用同样方法得出的球状星团距离也就同样有错误,而且用等龄线拟合估计的星团年龄也有错误,并涉及星系的距离、宇宙的大小和宇宙的年龄。如果是 Hipparcos 的测量结果受到某种未知的系统误差影响,那么也得把这种系统误差的来源找出来,以免影响将来更准确的 GAIA 天体测量卫星的测定结果。

7年来,天文学家就昴星团距离出现的上述分歧开展了激烈的争论,现在问题已经明朗并得到基本解决。本文将具体介绍 Hipparcos 的昴星团距离与以前地面测定结果比较所出现的差异、近年对昴星团距离新的测定、对 Hipparcos 数据作的重新处理以及对造成不一致的原因所进行的探讨。

2 Hipparcos 测定的昴星团距离

Hipparcos 的望远镜同时观测两个视场,这两个视场相差一个固定角度(大致为 58°)^[8],称为基本角。望远镜绕轴自转,自转轴与基本角所在的平面垂直。这一平面在天空中截出的大圆称为瞬时大圆。由所考虑时段内所有的瞬时大圆取一个中间值,称为参考大圆。瞬时大圆相对于参考大圆的位置,称为姿态。其中,基本角平分线离瞬时大圆在参考大圆上升交点的角

度, 称为沿扫描方向姿态。

恒星在视场内扫过调制网格, 仪器记录的是恒星像在调制网格上通过的时间。在姿态和恒星天球坐标已知的情况下, 可以把这一时间变换为相对于参考大圆的横坐标。然而, 恒星的天球坐标是被观测量, 事先并不准确知道, 因此 Hipparcos 测量的恒星横坐标含有一定的误差。

在照相天体测量归算中, 星像的量度坐标首先拟合底片常数模型, 统一到某个标准系统, 然后再拟合恒星常数模型, 得出需要的天体测量参数。与此相仿, 在 Hipparcos 天体测量数据归算中, 两个视场中恒星的一维横坐标残差首先拟合卫星沿扫描方向的姿态, 准确校准到参考大圆系统, 然后再拟合为位置、自行和视差的函数, 解出对这些参数的改正。

Hipparcos 观测的星团共有 250 个, 就其中被观测的恒星数量多寡可以分为 3 类^[9]。第一类星团中较明亮的成员星绝大多数都作了观测, 包括毕星团和后发星团, 距离不到 100 pc; 第二类星团中心区域恒星过于密集, 观测的成员星只是其中的一部分, 包括昴星团和另外几个星团, 距离在 100~250 pc 之间, 这一类星团与第一类的两个星团合称近距星团; 其余的星团, 距离超过 250 pc, 观测的成员星少于 10 颗, 许多只有一两颗。

在距离昴星团中心 5.5° 以内的天区中, 有 264 颗恒星包含在 Hipparcos 星表中。van Leeuwen 和 Hansen Ruiz^[6] 根据这些恒星的自行、视差和测光特性, 确定其中 60 颗是昴星团的成员星。在这 60 颗成员星中, 有 6 颗可能是双星, 剔除这几颗星之后, 还剩下 54 颗单星成员星。Hipparcos 的昴星团距离, 就是用这 54 颗恒星的观测数据确定的。

在 Hipparcos 观测中, 像昴星团这样集中在一个小天区内的恒星, 许多都在同一大圆上测量, 其横坐标的误差可能会有相关性, 并反映到每颗恒星的自行和视差测量结果中。因此, van Leeuwen 和 Hansen Ruiz 不是直接用 54 颗成员星的视差取平均来得到昴星团的距离, 而是按照所谓的组合横坐标方法^[10], 把这些恒星的横坐标数据(即所谓天体测量中间数据)放在一起归算, 改正它们的相关性, 得出星团的自行和视差。van Leeuwen 和 Hansen Ruiz 把所有成员星的自行看成在改正了投影效应造成的差异之后都相同, 得到昴星团的视差为 (8.61 ± 0.23) mas (对应于距离模数 (5.32 ± 0.05) mag, 距离 116.1 pc)。

van Leeuwen 和 Hansen Ruiz 使用的归算方法还使得能够把精确度比 Hipparcos 自行高 10 倍的地面观测得到的相对自行数据作为附加约束一起参加归算。他们把昴星团中心天区恒星的 Hipparcos 自行代之以地面自行, 得到的结果为 (8.65 ± 0.24) mas。

van Leeuwen 和 Hansen Ruiz 的结论是, 他们用 Hipparcos 数据得到的昴星团视差与以前(主要是测光)的测定值明显不符, 它使得这个星团距离同样近了约 15%。他们排除了氦丰度的不确定是造成这一差异的原因, 指出, 为了解释观测到的 0.3 mag 的差值, 氦丰度必须高达 0.35~0.40, 这似乎高得有些不太可能。

Mermilliod 等人^[7]也注意到 Hipparcos 的运行方式带来了在一个给定的参考大圆上横坐标之间的相关性, 指出在几度天区内这种相关性的影响可能是显著的。因此, 他们同样使用 Hipparcos 的天体测量中间数据, 建立给定星团所有观测结果之间的完整协方差矩阵, 一起用最小二乘法程序处理。在这个程序中, 他们把星团的平均视差和自行作为未知量与每颗恒星的天体测量参数一起解算。最后得到的昴星团视差为 (8.60 ± 0.24) mas (对应于距离模数 (5.33 ± 0.06) mag, 距离 116.3 pc)。

Mermilliod 等人还用相同的方法处理了后发星团、IC 2602、IC 2391、鬼星团、英仙 α

星团和 Blanco 1 这 6 个近距星团的 Hipparcos 数据, 得出它们的视差。他们对昴星团和这 6 个星团 Hipparcos 视差的分析, 得出了一个复杂的结果。在赫罗图中, 一方面, 鬼星团、后发星团、英仙 α 星团和 Blanco 1 一起确定了一条主序, 而另一方面, 昴星团与 IC 2602、IC 2391 一起确定了另一条主序, 后者比前者暗大约 0.5 mag。

Mermilliod 等人根据最新的参考文献比较了这两组星团的年龄。其中, 昴星团所在的这一组星团, 都比较年轻, 年龄均不超过 100 Myr。然而, 另外一组星团年龄, 却呈现很大弥散, 最年轻的英仙 α 星团只有 50 Myr, 而最年老的鬼星团则达 830 Myr。据此, 他们认为年龄不是造成这两组星团主序产生差异的原因。

Mermilliod 等人使用 Geneva 测光系统中不受红化影响的两个参数 d 和 Δ 对这些星团的赫罗图作比较, 其中 d 是 Balmer 跃变的量度, Δ 对化学组成即金属度敏感。这些比较表明, 单纯的金属度影响也不是造成上述两组星团主序产生差异的原因。他们指出, 氦或者还有碳、氮、氧这些元素丰度差的影响, 最多只有百分之几星等, 同样不可能解释这种差异。

Mermilliod 等人就此提出, 为了解释昴星团有别于其他近距星团的特性, 除了年龄、金属度和氦丰度以外, 看来还需要另一个参数。然而, 这样一来, 就涉及到了需要对恒星结构和演化理论进行某种带根本性意义的修正。

van Leeuwen^[11] 在 1999 年发表了对昴星团等 9 个近距疏散星团 Hipparcos 视差的新的研究结果。与 Mermilliod 等人^[7] 研究的 7 个星团相比, 这 9 个星团增加了 NGC 2451 和 NGC 6475。在这次研究中, van Leeuwen 注意到了他与 Mermilliod 等人^[7] 的研究结果之间存在的

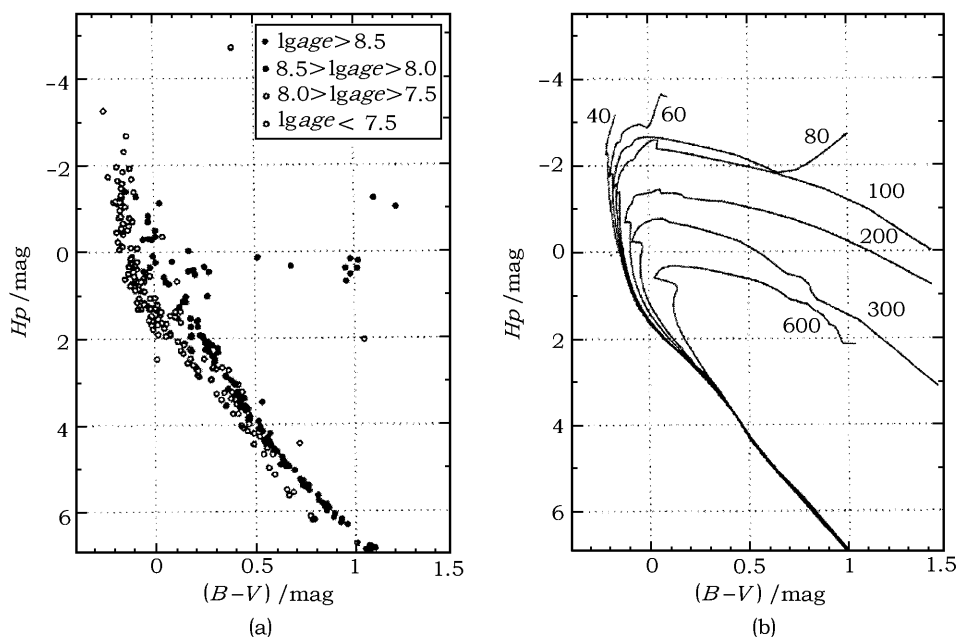


图 1 10 个距离模数误差小于 0.2 的星团的复合赫罗图及其与年龄介于 40~600 Myr 的太阳丰度恒星等龄线的比较^[9]

(a) 复合赫罗图 (按年龄分组); (b) 等龄线。

某些分歧。他与后一研究工作的参加者之一 Robichon 合作, 发现这些分歧是由于一些小的方法错误引起的。在改正了这些错误之后, 他给出昴星团的新的 Hipparcos 视差为 (8.45 ± 0.25) mas (对应于距离模数 (5.37 ± 0.07) mag, 距离 118.3 pc)。

van Leeuwen 把 9 个星团的 Hipparcos 测光数据改正红化后, 利用它们的 Hipparcos 视差合成一幅赫罗图。图中, 3 个年龄超过 200 Myr 的星团确定的一条主序位置明显比昴星团和另外 5 个年轻星团所构成的主序位置高, 后 6 个星团的年龄均小于 80 Myr。因此, van Leeuwen 认为, 昴星团恒星具有较小光度这一特征与年龄有关, 但这种趋势比恒星演化理论模型预期的更显著。

同年发表的另一篇论文中, van Leeuwen^[9] 在上述赫罗图上又加进了毕星团 (年龄为 (625 ± 50) Myr^[4]) 的数据, 与年龄介于 40~600 Myr 的太阳丰度恒星等龄线作比较 (图 1)。他指出, 这 10 个最近的星团的复合赫罗图, 展现出了类似于由理论等龄线预期的特征, 而且更为显著。在理论模型中, 等龄线在 $B - V = 0.25$ 处向上开始分散, 而对于这些星团, 这种分散在 $B - V = 0.5$ 处就已经出现。另外, 对于昴星团, $B - V$ 大于 0.5 的恒星出现在年老星团主序的下方 (相差约 0.5 mag)。van Leeuwen 认为, 这也许与昴星团中的年轻 G 型恒星球活动有关。因此, 没有理由使人怀疑 Hipparcos 的昴星团视差的正确性。

3 近年对昴星团距离新的测定

van Leeuwen 在 1999 年发表的工作似乎已经使昴星团距离问题得到了解决, 可是实际上并非如此。

事实上, 在 van Leeuwen 和 Hansen Ruiz^[6] 以及 Mermilliod 等人^[7] 1997 年的论文发表之后, 立即就引起了许多天体物理学家的注意。Pinsonneault 等人^[12] 在 1998 年、Stello 和 Nissen^[13] 在 2001 年使用昴星团的各种地面测光数据, 通过不同主序拟合法试图解决与 Hipparcos 的昴星团距离矛盾, 却全都求得了与以前的主序拟合结果相符合的距离模数。

昴星团的金属度通常取为接近太阳的金属度。Castellani 等人^[14] 2002 年使用纯粹的理论等龄线进行拟合, 假定昴星团的金属丰度明显比太阳低 (他们取 $Z = 0.012$, 而依据 Allen's Astrophysical Quantities^[15], 太阳的金属丰度 $Z_{\odot} = 0.0188$), 得出了与 Hipparcos 视差相一致的结果。他们指出, 目前昴星团恒星金属度观测结果的不确定性很大, 观测得到的估计值介于 $-0.19 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq 0.03$ 范围内, 他们的取值并未越出这一范围。因此, Castellani 等人认为, 由于昴星团金属度的不确定性超过了这个星团 Hipparcos 视差的不确定性, 如果金属度的测定不准确, 很难得出肯定的结论。

Percival 等人^[16] 在 2003 年提出了一种纯粹经验的主序拟合法。他们在所研究的疏散星团附近天区内找出 54 颗金属度与这个星团一致并具有精确 Hipparcos 视差的场星, 用它们构成一个样板主序, 以 $(B - V)$ 和 $(V - I)$ 两种颜色分别与星团主序进行拟合。对于毕星团, 他们得到了与由 Hipparcos 视差导出的数值相同的距离模数。但是, 对于昴星团, 以 $(B - V)$ 颜色得到的距离模数为 (5.76 ± 0.06) mag, 而以 $(V - I)$ 颜色得到的距离模数则为 (5.58 ± 0.04) mag。这两个结果不仅比 Hipparcos 视差得出的距离模数大得多, 而且彼此之间也有明显差别。

2004 年, Percival 等人^[17] 以 2MASS 的红外测光数据加上可见光测光数据, 把他们的

纯粹经验主序拟和方法用于昴星团。他们采用 Gratton^[18] 给出的由分光观测得到的金属度 $[Fe/H] = (-0.03 \pm 0.06)$ mag。他们用 V 与 $(V-K)$ 数据构成赫罗图, 由此得到的昴星团距离模数为 (5.67 ± 0.06) mag, 而用 K 与 $(J-K)$ 数据得到的结果为 (5.61 ± 0.05) mag。他们还发现, 如果只考虑 $M_V < 6$ mag 的恒星, 则 V 与 $(B-V)$ 数据给出的距离模数为 (5.67 ± 0.06) mag, 与由完整样本得到的结果相比, 减小了 0.09 mag。然而, 采用 V 与 $(V-I)$ 、 V 与 $(V-K)$ 和 K 与 $(J-K)$ 数据, 同样只考虑 $M_V < 6$ mag 的恒星, 结果却没有任何改变。

Percival 等人的方法依靠的是太阳附近场星的距离测量结果, 他们对所选用的场星使用的是 Hipparcos 测定的视差, 避免了地面测定的视差可能具有的系统误差。可是, 他们得到的昴星团距离模数, 却与以前地面观测取得的结果相一致, 从而表明了由 Hipparcos 的视差得到昴星团距离的确比应该有的数值近了约 10%。此外, 他们的工作还表明, 昴星团主序下段(晚于 K 型的矮星)的 $(B-V)$ 颜色反常地蓝, 这种现象在主序上段并不存在。

Stauffer 等人^[19] 在 2003 年发表了一篇论文专门讨论昴星团中的 K 型矮星为什么那么蓝。他们指出, 这种现象在年轻疏散星团中普遍存在, 这些星团中质量比太阳小的矮星由于快速自转和“黑子”活动等引起的色球活动, 即这些恒星的耀发活动, 会使它们在 B 波段反常亮将近 10% (约 0.2 mag), 而在 V 波段和 K 波段则没有这种现象 (图 2)。其实, 在年轻疏散星团中由于存在大量耀星而使其主序下段向 $(B-V)$ 更蓝的方向弥散, 这种现象在 20 世纪 70 年代就已经引起注意, 其后直到 1990 年前后仍受到一些天体物理学家的重视, 本文作者之一在 1995 年曾对此作过评述^[20]。

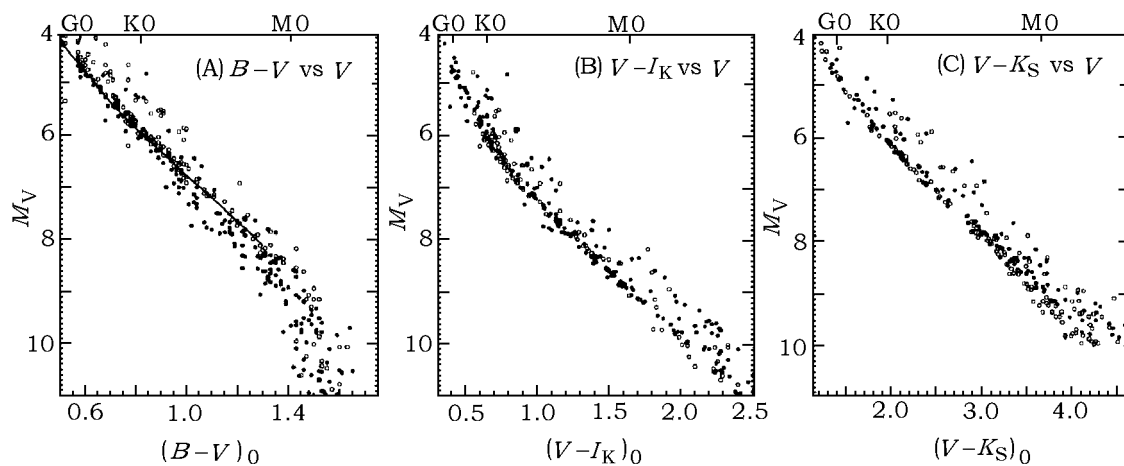


图 2 不同颜色赫罗图中昴星团 (黑点) 与鬼星团 (圆圈) 主序比较^[19]

在使用几何学方法测定昴星团距离方面, Narayanan 和 Gould^[21] 在 1999 年发表了他们采用视向速度梯度方法获得的结果。这种方法与会聚点方法统称为移动星团方法, 在原理上都是基于星团空间运动的透视效应, 但它依据的是星团成员星的视向速度数据, 此外还需要利用星团的平均自行。他们用这种方法得到昴星团的距离模数为 (5.58 ± 0.18) mag。

近年, 在地面对昴星团恒星所做的三角视差测定, 也取得了进一步的成果。2000 年, Gatewood 等人^[22] 对于 8 颗星团成员星给出平均视差数值为 (7.64 ± 0.43) mas (对应于距离模数 (5.59 ± 0.12) mag, 距离 130.9 pc)。为了使参考星的平均视差改正更可靠, 他们采用一种叠

代方法,对根据这些恒星的光谱型和视星等所取的距离初始值进行调整。Gatewood 等人得到的新的昴星团三角视差显然比他们 1990 年发表的初步结果准确,并与历史上地面测定的结果一致,但与 van Leeuwen 在 1999 年给出的 Hipparcos 测定的数值相比还是小了约 0.8 mas。

具有更大冲击力的是 2004 年 1 月在《Nature》杂志上发表的 Pan 等人^[23]的工作。Pan 等人用光学和红外长基线干涉测量方法测得昴星团中一颗双星成员星昴宿七的轨道参数,导出昴星团距离的一个可靠的下限,即不可能近于 127 pc,而最可能的范围是在 133~137 pc 之间。

然后,在 2004 年 3 月和 8 月, Munari 等人^[24]和 Southworth 等人^[25]分别独立地发表了用昴星团中一颗食双星成员星 HD 23642 测定的昴星团距离。前者的结果为 (132 ± 2) pc,后者的结果为 (139 ± 4) pc,均与传统的昴星团距离相符合,而与 Hipparcos 测定的昴星团距离以及 Hipparcos 测定的这颗食双星的距离均不符合。

可惜的是, Pan 等人以及 Munari 等人和 Southworth 等人的工作都没有做视向速度测定,这使得他们的工作不能完全独立于恒星理论模型。2004 年 8 月, Zwahlen 等人^[26]发表了昴宿七的视向速度和新的干涉测量结果。他们把这些结果与 Pan 等人的观测结果合在一起,不依靠任何恒星理论模型,精密地导出这个双星系统的轨道参数和两颗子星的质量,以纯几何的方式定出昴宿七的距离,为 (132 ± 4) pc。这一结果证实了通过主序拟合和地面三角视差测定得到的昴星团距离,而与 Hipparcos 测定的结果矛盾。

2004 年 5 月, Soderblom 等人^[27]在美国天文学会会议上报告了用 Hubble 太空望远镜的精细导星传感器 (FGS) 测量的 3 颗昴星团成员星的三角视差。他们得到的直接结果是相对视差,为此测定了参考星的光谱,求得绝对视差改正。由此,他们得出昴星团视差的最终结果是 (7.43 ± 0.17) mas, 对应距离为 (135 ± 3) pc。

4 对 Hipparcos 数据的重新处理

Pinsonneault 等人^[12]依据他们在 1998 年用主序拟合法求出的昴星团距离模数与根据 Hipparcos 视差得到的数值相比大了将近 0.3 mag, 提出 Hipparcos 的昴星团视差受到某种在很小的角度尺度(半径约为 2°)上相关的系统误差影响,其数值约为 1 mas。

Narayanan 和 Gould^[21]在 1999 年的工作中进一步讨论了在 Hipparcos 测量结果中像昴星团这样占据很小天区的富星团内恒星与恒星之间误差可能存在相关性的问题。他们认为, Hipparcos 视差中误差的这种空间相关性在毕星团天区同样存在,然而毕星团的中心恰好位于这种相关性的空间结构的一个节点上,因此在对各成员星视差取平均得到星团视差时误差就相互抵消,可是昴星团并非如此,于是取平均之后得到的星团视差就具有明显的系统差。

van Leeuwen^[9]在 1999 年的论文中批评了 Narayanan 和 Gould^[21]的工作,指出他们采用的方法包含着所用星团成员星具有相同的空间运动速度这样一个假定,而对于像昴星团这样成员星没有完全束缚的疏散星团,这一假定并不严格成立。他认为他们对 Hipparcos 视差误差空间相关性的分析非常可能包含着错误。根据他的分析, Hipparcos 测量结果中横坐标残差相关性产生的影响大小最多只有 0.1 mas,而相关天区的角度标度小于 1.2° 。他指出,在用来确定星团视差的组合横坐标方法中,已经完全考虑到了这种相关性。

然而, Makarov^[28]在 2002 年发表的一篇论文中指出, Gatewood 等人 2000 年给出的昴

星团三角视差测定结果, 与天体物理的方法和模型无关, 数值上却也与主序拟合的结果大体相同。他还举了 Hipparcos 测定的疏散星团 NGC 6231 中共 6 颗成员星的视差全部是负值这个极端例子。他指出, 这 6 颗恒星的 Hipparcos 视差平均值为 (-0.62 ± 0.48) mas, 而根据主序拟合它们的视差应为 0.8 mas。据此, 他认为 Hipparcos 的数据处理和归算方法中可能确实存在问题。

Makarov 在这篇论文中提出用一种不同方法重新由 Hipparcos 天体测量中间数据计算恒星的天体测量参数, 这种方法考虑到消除沿扫描方向的姿态误差。他把这种方法用于重新计算 54 颗昴星团成员星视差, 加权平均后得出新的昴星团视差数值为 (7.75 ± 0.20) mas, 比 Hipparcos 星表中的视差平均值小了 0.71 mas, 比 van Leeuwen 和 Hansen Ruiz^[6] 在 1997 年给出的使用组合横坐标方法归算得到的数值小了 0.86 mas, 也比 van Leeuwen^[11] 在 1999 年给出的改正组合横坐标方法归算程序中错误后得到的数值小了 0.70 mas。

Makarov 在这篇论文中讨论了姿态误差的起源。他指出, 昴星团处的误差也许是偶然的噪声起伏, 或者误差传播可能仅局限于最密集和最明亮的一些星团。对于后一情况, 一种可能的定性解释是, 在两个视场中恒星统计权重可能存在的平衡, 这种不平衡增强了姿态误差的传播。事实上, 当 Hipparcos 两个视场中有一个中心在富星团的时候, 那个视场中有多达几十颗成员星几乎同时被观测 (或者说准同时观测), 而在另一个指向相距 58° 的视场中通常只有两三颗恒星。沿扫描方向姿态角是由观测得到的在此时刻通过两个视场的所有恒星横坐标残差来解算的, 但大量的星团成员星也许会使权重远远超过另一个视场内的恒星。这些成员星全都具有基本相同的视差和自行。就姿态测定而言, 这等价于只有一颗恒星, 而这颗恒星在计算中却具有很大的权重。

不过, Makarov 的工作并没有能够完全解决昴星团距离矛盾, 他给出的昴星团视差数值仍比地面测定的数值大了约 0.2 mas。更重要的是, 如 van Leeuwen^[29] 在 2004 年的一篇报告中所指出的, Makarov 的解决办法并不是一条真正的出路。Makarov 使用与星团相距 58° 的环带内所有准同时观测的恒星改正星团的视差, 可是, 这些恒星的观测在一圈轨道运动中通常有两次, 其中一次并非与星团准同时观测, 而在 Hipparcos 天体测量中间数据文件中给出的是每一圈轨道运动中所有观测结果的平均值。为了消除那些与星团无关的观测的影响, Makarov 在处理中乘以一个等于 2 的因子, 然而两次观测实际的影响不可能是均等的, 而且有些恒星在一圈轨道运动中观测不止两次, 这就造成了改正值有较大的不确定性。

因此, 为了得到正确的结果, 还是要从 Hipparcos 的原始观测数据开始重新归算。van Leeuwen^[29] 在 2004 年的报告中介绍了由他正在进行的这项工作。Hipparcos 的原始观测数据将近 112 GB, 现在只有一个几乎完整的副本仍还存在。这些数据原来存放在将近 1200 盘 9 磁道的磁带上, 现在已经转刻在 24 张 DVD 上。使用一台笔记本电脑来做重新归算, 花 2~3 周就可以处理全部数据。由于采用了更现代化的硬件环境, 新的处理意味着要重新编写大量软件。新的软件不仅改进了数据处理的方法, 而且允许对归算过程进行更多的人机对话控制。

van Leeuwen 指出, 在新的归算中, 两个视场权重不一致的潜在影响已经加以考虑, 改正的应用减小了大的不一致。在新的归算中还增加了姿态的动态模拟以及姿态与横坐标之间的解耦, 从而减小了这些因素的影响。初步结果表明, 姿态噪声减小到了原来的 $1/3$ 或更小, 从而使得亮星的天体测量参数误差减小到原来的 $1/3$ (见图 3)。如此精密的测量结果目前绝无

仅有。较明亮恒星中负视差数量和幅度的减小表明, 其中至少有一些准确度确实有了改进。重新归算的结果将包括疏散星团视差的新的测定值, 它们受到横坐标误差相关性和权重不一致造成的不确定性的影响会小得多。

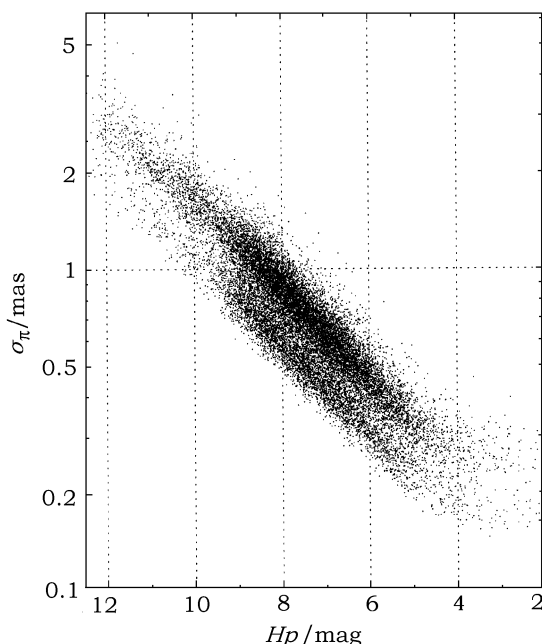


图3 在新的 Hipparcos 解中视差测定值的形式误差^[29]

5 结 语

自 1997 年以来的大量研究工作表明, 当时根据 Hipparcos 天体测量数据得到的昴星团距离确实比真实距离近了大约 10%, 说明了至少对于某些天区, 尤其是像昴星团这样天区范围较小的富星团, 这些数据存在最大可达 1 mas 左右的系统差。造成这种系统差的原因, 是因为 Hipparcos 在观测像昴星团这样的天区时, 这个视场中有大量恒星被观测, 而另一个同时观测的相距 58° 的视场中只有很少几颗恒星被观测, 原来的归算程序没有考虑这种情况, 造成了两个天区统计权重的不平衡, 使得由此得到的天体测量参数误差出现相关性。van Leeuwen 对 Hipparcos 天体测量原始数据进行的重新处理将有可能解决这个问题, 不但将消除结果中的系统差, 而且, 新的 Hipparcos 星表, 对于 4 mag 和更亮的恒星, 天体测量参数的准确度将好达 0.2 mas, 而原来的星表是 0.5~1.0 mas。这个问题的解决, 还将有助于未来 GAIA 天体测量卫星按预定计划获得好到 0.02 mas, 甚至 0.01 mas 的结果。

昴星团距离的另一个问题是, 在根据 Hipparcos 距离测量结果绘制的近距疏散星团赫罗图中, 以昴星团为代表的某些年轻疏散星团, 与另一些主要是年老的疏散星团相比, 主序的位置暗了约 0.5 mag。至少对于昴星团来说, 这个问题是两方面的原因造成的。一方面, 由于原来 Hipparcos 测定的视差比真值大了约 1 mas, 这会使得距离模数减小约 0.3 mag。另一方面,

昴星团内含有大量年轻的具有剧烈色球活动的耀星, 这些恒星使得赫罗图中 $M_V > 6$ mag 的主序下段向更蓝的一侧发散, 从而使主序的脊线相应地向更蓝的一侧移动, 看上去呈现为在星等方向变暗了约 0.2 mag。

随着重新处理得到的 Hipparcos 天体测量结果的发表, 昴星团的距离问题可望最终获得解决。以昴星团的准确距离作为基准, 就可以对赫罗图中其他近距年轻疏散星团所呈现的问题进行更深入的研究, 使这些问题也能加以适当的解释。这样, 就可以使宇宙距离尺度以及恒星结构和演化理论具有更加坚实的基础。

致谢 由衷感谢剑桥大学天文研究所 Floor van Leeuwen 博士友好提供他在 2004 年 6 月英国 Preston 召开的金星凌日会议上发表的尚未正式出版的报告文本。

参考文献:

- [1] 王家骥. 天文学进展, 1999, 17: 159
- [2] van Altena W F. AJ, 1974, 79: 826
- [3] van Altena W F, Lee J T, Hoffleit E D. Baltic Astron., 1997, 6: 27
- [4] Perryman M A C, Brown A G A, Lebreton Y *et al.* A&A, 1998, 331: 81
- [5] Gatewood G, Castelaz M, Han I *et al.* ApJ, 1990, 364: 114
- [6] van Leeuwen F, Hansen Ruiz C S. In: Battrick B ed. Proc. of the ESA Symp. Hipparcos Venice'97, Noordwijk: ESA Publication Division, 1997: 689
- [7] Mermilliod J M, Turon C, Robichon N *et al.* In: Battrick B ed. Proc. of the ESA Symp. Hipparcos Venice'97, Noordwijk: ESA Publication Division, 1997: 643
- [8] Kovalevsky J. Modern Astrometry, Berlin: Springer, 1995: 191~234
- [9] van Leeuwen F. In: Egret D, Heck A eds. Harmonizing Cosmic Distance Scales in a Post-Hipparcos Era, San Francisco: ASP, 1999: 52
- [10] van Leeuwen F, Evans D W. A&AS, 1998, 130: 157
- [11] van Leeuwen F. A&A, 1999, 341: L71
- [12] Pinsonneault M H, Stauffer J, Soderblom D R *et al.* ApJ, 1998, 504: 170
- [13] Stello D, Nissen P E. A&A, 2001, 374: 105
- [14] Castellani V, Degl'Innocenti S, Prada Moroni P G *et al.* MNRAS, 2002, 334: 193
- [15] Cox A N ed. Allen's Astrophysical Quantities, London: Athlone, 1999: 342
- [16] Percival S M, Salaris M, Kilkenny D. A&A, 2003, 400: 541
- [17] Percival S M, Salaris M, Groenewegen M A T. A&A, 2005, 429: 887
- [18] Gratton R. In: Pallavicini R, Micela G, Sciortino S eds. Stellar Clusters and Associations: Convection, Rotation, and Dynamos, San Francisco: ASP, 2000: 225
- [19] Stauffer J R, Jones B F, Backman D *et al.* AJ, 2003, 126: 833
- [20] 王家骥. 天文学进展, 1995, 13: 64
- [21] Narayanan V K, Gould A. ApJ, 1999, 523: 328
- [22] Gatewood G, de Jonge J K, Han I. ApJ, 2000, 533: 938
- [23] Pan X, Shao M, Kulkarni S R. Nature, 2004, 427: 326
- [24] Munari U, Dallaporta S, Siviero A *et al.* A&A, 2004, 418: L31
- [25] Southworth J, Smalley B, Maxted P F L *et al.* In: Zverko J, Ziznovsky J, Adelman S J *et al.* eds. The A-star Puzzle, Proc. IAU Symp. No.224, Cambridge: Cambridge University Press, 2004: 548
- [26] Zwahlen N, North P, Debernardi Y *et al.* A&A, 2004, 425: L45
- [27] Soderblom D E, Nelan E, Benedict G F *et al.* AJ, 2005, 129: 1616
- [28] Makarov V V. AJ, 2002, 124: 3299

- [29] van Leeuwen F. In: Kurtz D W, Bromage G E eds. Transits of Venus: New Views of the Solar System and Galaxy, Proc. IAU Colloq. No.196, Cambridge: Cambridge University Press, 2005: 347

Post-Hipparcos Distance of the Pleiades Cluster

WANG Jia-ji, CHEN Li

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

Abstract: An unexpected discrepancy is exhibited in comparison between the distances of the Pleiades cluster obtained from the Hipparcos data and previous ground-based data. In recent years, new distance determinations for the cluster were discussed with various methods by a number of authors. A re-process for the Hipparcos raw data is performed on a set of software by Dr. Floor van Leeuwen. In view of these progresses, some comments would be found. In a Hertzsprung-Russel diagram of nearby open clusters on the old Hipparcos distances, the main sequence of some young clusters, represented by the Pleiades, locates 0.5 mag fainter than that of the other old clusters. This may be, at least for the Pleiades, due to two facts: (1) the Hipparcos-based parallax of the cluster could be about 1 mas larger than the true value, which could reduce its distance module about 0.3 mag; (2) the abundance of young flare stars with the violent chromospheric activity in the cluster could induce the faint mean sequence stars with $M_V > 6$ mag to shift towards the bluer side which has a displacement down to about 0.2 mag.

Key words: astrometry; distance; review; Pleiades; parallax; Hertzsprung-Russel diagram; Hipparcos