

# 反射望远镜的恒星三角视差测定

王家骥

(中国科学院上海天文台)

## 提 要

本文回顾了用反射望远镜测定恒星三角视差的早期历史以及自六十年代以来美国海军天文台的恒星三角视差测定工作,对反射望远镜在未来恒星三角视差测定中将起的重要作用进行了展望,并简介了上海天文台近年来在这方面所做的一些准备工作。

## 一、早期历史回顾

1838年,白塞耳用量日仪首次测得了天鹅座61星的视差。本世纪初,史莱辛格开创了用照相天体测量方法测定恒星三角视差的新纪元。从那时以来,恒星三角视差测定成了照相天体测量学领域内的一项基本工作。到1962年底为止,已对6,400多颗恒星作了10,000多次三角视差测定。这些视差测定工作,百分之九十五是用长焦距折射望远镜做的。

第一批用反射望远镜测定的视差是由范马南在1915年发表的,其中列出了用威尔逊山的1.5米反射望远镜测得的25颗恒星的三角视差。后来,范马南也曾在2.5米反射望远镜上测定过恒星三角视差。到第二次世界大战结束时,范马南一共发表了541个用反射望远镜测定的恒星三角视差值。这也是直到本世纪六十年代为止仅有的用反射望远镜测定的恒星三角视差。

在当时,影响使用反射望远镜来测定恒星三角视差的原因,一方面是由于像威尔逊山那样,当时世界上最大望远镜的观测计划十分拥挤,不可能把更多的观测时间安排给天体测量工作,而用照相天体测量方法测定恒星三角视差又是极花时间的,测定一颗星的三角视差,按照当时的做法,也需要在相隔各为半年左右的三个不同历元共拍摄一打左右底片才行;另一方面,更主要的原因,是对于用反射望远镜测定恒星三角视差能否达到与长焦距折射望远镜相同的准确度存在着怀疑。当时已经注意到,反射望远镜对于挠曲是敏感的,这会影响到光学系统的稳定性,而且,离轴象由于彗形象差而受到不对称性的损害。

就范马南发表的视差来说,对于1.5米反射望远镜,平均内部标准误差约为 $\pm 0''.01$ ,而对于2.5米反射望远镜,这个值为 $\pm 0''.02$ 左右,并且系统差也很大。当时用长焦距折射望远镜测定恒星三角视差的外部标准差约为 $\pm 0''.015$ 。显然,用1.5米反射望远镜测定恒星三角视差的准确度并不比折射望远镜差;可是,2.5米反射望远镜测定恒星三角视差的误差则太大

了。

后来,有人对2.5米反射望远镜的天体测量性能作了研究<sup>[1]</sup>,指出这架望远镜在牛顿焦点上可被用于作天体测量工作的视场直径只有3'.6。范马南在用这架望远镜测定恒星三角视差时,为了衰减亮视差星的亮度,使它们的亮度与定标星比较接近,用了旋转扇。在这种情况下,定标星离光轴至少有8'远。这架望远镜测定恒星三角视差时的大误差就是这样来的。事实上,用这架望远镜测定暗星三角视差时,准确度也不比折射望远镜差。这时候,不需要用旋转扇,因而所有的定标星都在离光轴8'之内。

范马南的工作的意义在于,有一些光度非常低的近距星,它们的视星等太暗,即使用现有的口径最大的长焦距折射望远镜,也不能在适宜于作天体测量的底片上拍摄到它们。要制造口径更大的长焦距折射望远镜,技术上的困难可以说是无法克服的。因此,这类星只能用反射望远镜来测定它们的三角视差。可惜,在范马南于1946年去世之后,威尔逊山的视差工作就中断了。后来,尽管有人试图恢复这项工作,最后还是归于失败了。

## 二、美国海军天文台的恒星三角视差测定工作

美国海军天文台早期并未开展恒星三角视差测定工作。在五十年代,由于暗星自行巡天工作的开展,大量的大自行暗星逐渐被发现了。从理论上说,绝大多数都应该是近距星,它们的光度非常低,所以才呈现为视星等很大的暗星。真正的高速星,数量应该是不多的。具体说来,某一颗大自行暗星,究竟是近距星,还是远距的高速星,只有靠测定它的三角视差才能得到确认。美国海军天文台正是在这种情况下担负起了暗星三角视差测定这项极有意义的工作。

1955年,美国海军天文台的Strand在宇宙距离尺度会议上提出了建造专门用于暗星三角视差测定的高精度天体测量反射望远镜的计划。1960年,美国国会拨款给美国海军天文台建造了这样一架望远镜。1964年4月,这架1.55米口径的望远镜在Flagstaff安装完毕并且交付使用。这是世界上第一架专门用于照相天体测量尤其是恒星三角视差工作的反射望远镜。

美国海军天文台在建造望远镜的同时,也是在Strand的领导下,建造了一架专门用于测量照相天体测量底片的自动坐标量度仪。这架量度仪被安放在华盛顿的美国海军天文台本部。用这架量度仪作的测量<sup>[2]</sup>表明,测量速度比人工快5到6倍,短期和长期重复测量符合度都小于1微米。

高精度的天体测量反射望远镜,配上高精度的自动坐标量度仪,构成了一个把现代化的技术应用于恒星三角视差照相测定的完整体系,使恒星三角视差测定工作进入了又一个新纪元。到1982年为止,美国海军天文台已发表了近600颗恒星的三角视差测定结果<sup>[3],[4]</sup>,其中绝大部分都是暗于十二等的暗星,平均内部标准差为 $\pm 0''.0039$ ,而对外部误差所作的分析表明,外部误差与内部误差大致相等。

美国海军天文台视差的外部误差和内部误差大致相等,这一点具有特别重要的意义,因为这正是用反射望远镜测定恒星三角视差的优点所在。这表明,美国海军天文台的1.55米天体测量反射望远镜的系统误差接近于零。事实上,归算过程中所作的大量检验表明,星等、

颜色、彗差、二次项、三次项以及加速项全都不显著,各次露光的星像的误差之间也几乎不相关,也就是说,全部误差都是随机的。Atkinson<sup>[5]</sup>指出,长焦距折射望远镜测定恒星三角视差的系统误差,主要来自透镜偏心;而这个问题对于天体测量反射望远镜来说根本不存在,因此用天体测量反射望远镜测得的视差不会有显著的系统误差。

自1963年以来,已发表的恒星三角视差测定结果一共不到2,000个,因而美国海军天文台的贡献占了三分之一。耶鲁、阿勒根尼、麦考密克和好望角这四个天文台,在1962年以前,是测定恒星三角视差的主力军,四分之三的贡献属于它们。可是,在1963年以后,这四个天文台的贡献合在一起,才大致与美国海军天文台相当。无论是从数量上说,还是从质量上说,拥有世界上第一架天体测量反射望远镜的美国海军天文台,无愧为当代恒星三角视差测定工作的新的主力军。

### 三、展 望

自从本世纪二十年代恒星三角视差测定工作进入高潮以后,到1950年为止的三十来年中,平均每年发表的视差测定结果达二、三百个。从1951年到1962年期间,这个平均数减为一百多。而从1963年以来,这个数字还不到一百。是否可以认为,恒星三角视差测定工作大部份已经完成,今后不会再有很大的发展余地了呢?

事实上,自六十年代以来,恒星三角视差测定工作正在经历着一场革命性的变革,其主要特征是两个:一是向暗星的方向发展,另一是向高准确度方向发展。例如,在Gliese和Jahreiss的《1969—1978年发表的近距星数据》<sup>[10]</sup>中,新确认的近距星,暗于12等的占了总数的三分之二,标准误差小于 $0''.010$ 的三角视差占了总数的四分之三;而在Gliese的《1969年版近距星表》<sup>[9]</sup>中,对于当时确认的全部近距星,这两个比例数分别为六分之一和五分之一。

目前,这场变革还在继续向前发展。更准确的三角视差,不但向我们提供了更准确的恒星距离,而且使我们能够获得更准确的恒星光度、质量、线直径和切向速度,更准确地绘制赫罗图,从而给天文学和天体物理学研究带来一系列重大的影响。本文不打算全面地论述这些影响,仅就其中几个问题作些阐述,以说明反射望远镜在恒星三角视差测定中将发挥越来越大的作用。

#### 1. 太阳系外距离的基本尺度

目前,被用作太阳系外距离基本尺度基础的,仍还是Jenkins的《恒星三角视差总表》<sup>[6]</sup>及其补编<sup>[7]</sup>,其中包括了1962年底以前的全部恒星三角视差测定结果。这份视差表的外部误差被公认为标准差约等于 $\pm 0''.015$ ,相对误差小于10%的恒星只有70余颗,其距离在6.7秒差距以内。这样的基本尺度带有很大的不确定性。新的总表正在编纂之中,它包含了1963年以来的新的测定结果,其中包括美国海军天文台测定的近600颗恒星的视差。

按照5.2秒差距范围内恒星总数<sup>[8]</sup>推算,在6.7秒差距以内,一共只有100多颗恒星。但是,如果把距离扩展到22秒差距,一共就可以有4,500多颗恒星。据Gliese的近距星表<sup>[9]</sup>及其补编<sup>[10]</sup>,到1978年为止,在此距离内的恒星还只确认了2,200颗左右,也就是大约还有一半星未测过三角视差。如前所述,美国海军天文台用天体测量反射望远镜测定的恒星三角视差外

部标准差已减小到 $\pm 0''.004$ 左右, 与相对误差等于10%相应的距离为25秒差距, 在此范围内, 恒星总数估计可达6,000多颗。如果我们能把这范围内的大部分恒星证认出来, 以相对误差小于10%的准确度测定它们的三角视差, 无疑会给基本距离尺度带来明显的改进。

现在已经有人<sup>[11]</sup>预计, 通过使用细颗粒和高信噪比乳胶以及象 PDS 这样优异的自动量度仪, 在今后若干年内还可以将视差测量的准确度进一步提高到标准差等于 $\pm 0''.001$ , 这样, 对于作为银河系中星族 I 距离尺度基础的毕星团, 只要测得其21颗成员星的视差, 就可以使这一星团距离准确到1%。这将是十分令人兴奋的。

## 2. 恒星统计

为了使统计结果具有显著意义, 最重要的一点是样本的完整性。可是, 即使在 5.2 秒差距内, 样本也远非是完整的。这可从下面根据 Gliese 近距星表作出的一个统计表明地看出。

距离范围(秒差距)	恒星数目	平均密度(星数/立方秒差距)
<4.14	35	0.12
4.14—5.2	25	0.08
<22	1890	0.04

表中, 恒星的空間密度随着距离的增加而急剧地减小。这当然只是由于样本的不完整性造成的假象。当距离更远时, 这种不完整性变得更加厉害。这就严重地影响了诸如密度函数、速度分布、光度函数等等恒星统计结果的可靠性。

按5.2秒差距之内恒星统计, 三分之二的恒星光度在0.01—0.0001太阳光度之内。这些星在5.2秒差距处视星等为8—13等, 这正是长焦距折射望远镜测定恒星三角视差的星等范围。可是, 在20秒差距处, 这些星的视星等增加到11—16等, 大多数只能用反射望远镜来测定其三角视差。美国海军天文台 1.55 米天体测量反射望远镜所测的视差星最暗的视星等已达到 17.24。只有使用这类反射望远镜, 才有可能取得比如说到 20 秒差距为止的完整的恒星统计样本。

## 3. 赫罗图下部

描绘赫罗图所需要的绝对星等, 主要是依据恒星三角视差来确定的。按 5.2 秒差距之内统计结果, 在全部恒星中, M型矮星占三分之二, 白矮星占十分之一。推算到22秒差距之内, M型矮星应有3,000多颗, 白矮星应有 450多颗。在 Gliese 近距星表中, M型矮星只有约 600颗, 白矮星只有约50颗。根据这样的资料作出的赫罗图, M型矮星和白矮星所在的下部, 当然是不完善的。尤其是白矮星, 因为数量太少, 很难看出它们是否构成序列。反射望远镜能把测定恒星三角视差的极限星等提高到17等甚至更暗, 就可以发现大量的M型矮星和白矮星, 从而使赫罗图下部完善起来。美国海军天文台近年来的工作, 已为此作出了初步的、十分可贵的贡献。

## 4. 低光度星

热光度低于太阳热光度千分之一的恒星称为低光度星。在5.2秒差距范围内, 这类低光度星有 6 颗。运用统计方法和自行数据, 现已初步确定了上千颗恒星属于这类低光度星<sup>[12]</sup>。但是, 它们基本上都还未测定过三角视差, 因而很可能其中有些星实际上是高速星而非非低光

度星。低光度星的绝对照相星等几乎都暗于16.5等,显然只有用反射望远镜才能测定其视差。

根据以上的阐述可以明白,六十年代以后对恒星三角视差的测定在数量上相对低落,只是反映了原有的长焦距折射望远镜已经逐渐不能适应这个领域工作的需要。相反,天体测量反射望远镜在这个领域将越来越大有作为。

此外,在天体测量双星和不可见伴星的探测方面,反射望远镜由于其天体测量的准确度高而且几乎没有系统差,更可以发挥其独特的作用。使用天体测量反射望远镜,将更加容易发现并确认恒星由于轨道运动产生的对位置的扰动,由此而确定一些共同自行星对是否确有力学联系,以及在一些恒星周围是否确有不可见伴星存在。

例如,太阳对太阳系质心的平均偏离约为0.009天文单位,在2秒差距处看起来呈现为 $0''.0045$ 的扰动。这2秒差距的距离,大致相当于巴纳德星那么远。因此,如果巴纳德星的周围存在一个行星系统的话,应该能够用反射望远镜检测出来。从1918年到1967年期间,斯普罗尔天文台曾经用61厘米口径、10.93米焦距的折射望远镜对巴纳德星作过大量观测,在其中的776个夜间拍摄了3,036张底片,共10,452次露光,其归算结果<sup>[13]</sup>表明巴纳德星有周期为25年、半长径为 $0''.0275$ 的轨道运动。可是,后来另一些人的研究结果<sup>[14]</sup>否定了这种轨道运动的存在,认为斯普罗尔天文台所发现的轨道运动不过是由于望远镜的光学系统变化而引起的系统差。斯普罗尔天文台又重新分析了自己的观测资料<sup>[15]</sup>,主要依据1950年至1974年的结果,将其改成周期11.5年、半长径 $0''.0093$ 和周期22年、半长径 $0''.0053$ 的两种运动。看来,这个问题只有等到将来获得了反射望远镜的观测结果,才能最后下定论。目前,美国海军天文台正在为此积累观测资料。

还有一种看法,认为在欧洲与美国的两个空间天体测量计划实现之后,地面天体测量就可以取消,同样也不必再在恒星三角视差测定方面多花力气了。事实并非如此。这两个计划都已推迟到1986年以后才能实现。欧洲依巴谷计划可以完成对较亮的恒星( $m_V \leq 9$ 全部, $m_B \leq 14$ 少量)视差的重新测定,把准确度提高到 $\pm 0''.002$ 左右,并且是绝对视差,至于其余的工作,则完全不能取代地面的观测,特别是在暗星方面。美国空间望远镜虽然可以观测暗星( $m_V$ 可达20)的相对三角视差,并且准确度更高一些,但是能用于天体测量工作的时间极其有限,不能与地面的工作相比,因为这架望远镜还有大量的天体物理工作要做。由于空间天体测量费用极其昂贵,我们认为即使到本世纪末或下世纪初,也不可能搞很多这样的计划。何况,前面已经提到,在今后若干年内,地面照相方法测定三角视差的准确度很可能会达到 $\pm 0''.001$ ,那就更没有必要花费大量资金把测定恒星三角视差的工作全部都推到空间去做了。另外,即使空间技术成功地运用于恒星三角视差的测量,也需要与地面工作结果进行相当长一段时间的比较,以便发现可能有而又未估计到的系统误差。至少,在近期内,空间天体测量不能完全取代地面工作。因此,地面采用反射望远镜的恒星三角视差测定工作非但不会被取消,而且只会更向前发展一步。

可惜,目前世界上专门用于照相天体测量工作的反射望远镜,还仅仅只有一、二架。除了美国海军天文台的1.55米望远镜之外,意大利也曾于1974年在都灵建成了一架1.04米口径的天体测量反射望远镜。然而,迄今为止,我们还没有看到用这架望远镜测定恒星三角视差的大量结果。

#### 四、上海天文台的恒星三角视差测定工作

上海天文台正在建造中的1.56米天体测量反射望远镜,将主要用于恒星三角视差测定。预计这架望远镜可以于1986年内安装在佘山并投入试验观测,1987年开始拍摄视差底片。

为了取得经验,从1980年开始,我们在佘山40厘米折射望远镜上开始恒星三角视差的试验测定。当时只有一颗视差星,即BD + 2°348。这颗星的观测结果已在1983年发表于《天文学报》<sup>[16]</sup>。自1981年底以来,又试验观测了10颗恒星,并基本上已完成底片拍摄工作,今后将逐步发表观测结果。

除此以外,近年来,我们还对天体测量底片归算模型选择<sup>[17]</sup>、恒星三角视差归算方法及计算机程序编制<sup>[18]</sup>、恒星三角视差测定中的大气色散影响<sup>[19]</sup>和天体测量底片归算中的星等项诸问题进行了研究,为以后编制1.56米望远镜的恒星三角视差归算程序打下了基础。

我们的奋斗目标是,在九十年代初,发表用上海天文台1.56米天体测量反射望远镜测定的第一个恒星三角视差表,其中包括80—100颗恒星,星等大多为14—17,视差测定值的准确度优于 $\pm 0''.004$ ,甚至达到 $\pm 0''.001$ ;以后,每隔三、四年,再发表一个这样的视差表,从而使我国的恒星三角视差测定工作进入世界先进行列。

#### 参 考 文 献

- [1] Strand, K. Aa., in Proceedings of the Astrometric Conference held in connection with the Dedication of the 41-inch Astrometric Reflector of the Observatory of Torino, p.21, (1974).
- [2] Riddle, R. K. and Worley, C. E., *A. J.*, 71 (1966), 868.
- [3] Harrington, R. S. and Dahn, C. C., *A. J.*, 85 (1980), 454.
- [4] Dahn, C. C. et al., *A. J.*, 87 (1982), 419.
- [5] Atkinson, d'E., *Publ. Leander McCormick Observatory*, 16 (1971), 259.
- [6] Jenkins, L. F., *General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes*, Yale University Observatory, (1952), New Haven.
- [7] Jenkins, L. F., *Supplement to the General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes*, Yale University Observatory, (1963), New Haven.
- [8] van de Kamp, P., *Ann. Rev. A. Ap.*, 9 (1971), 103.
- [9] Gliese, W., *Veröffentl. Astron. Rechen-Instituts Heidelberg*, 22 (1969).
- [10] Gliese, W. and Jahreiss, H., *Astron. Astrophys. Suppl.*, 38 (1979), 423.
- [11] van Altena, W. F., *Ann. Rev. A. Ap.*, 21 (1983), 131.
- [12] Luyten, W. J., *Report on National Science Foundation Grants GP8082 and 9506*, Univ. of Minn., (1970).
- [13] van de Kamp, P., *A. J.*, 74 (1969), 238.
- [14] Gatewood, G. and Eichhorn, H., *A. J.*, 78 (1973), 769.
- [15] van de Kamp, P., *A. J.*, 80 (1975), 658.
- [16] 王家骥, *天文学报*, 24 (1983), 165.
- [17] 王家骥, 朱国良, 王秀美, *中国科学院上海天文台年刊*, (1982), No. 4, 92.
- [18] 王家骥, *中国科学院上海天文台年刊*, (1983), No. 5, 111.
- [19] 王家骥, 殷明言, *中国科学院上海天文台年刊*, (1984), No. 6, 10.

## On Determination of Trigonometric Stellar Parallaxes with Reflectors

Wang Jiaji

*(Shanghai Observatory, Academia Sinica)*

### Abstract

Early history of determining trigonometric stellar parallaxes with reflectors and work in this field at USNO since the 1960s are reviewed. The prospect of the important role of reflectors in this respect is discussed. Preparations for determining trigonometric parallaxes of faint stars with the 1.56-m astrometric reflector now under construction at Shanghai Observatory are outlined.