

恒星距离测定的150年

容建湘

(南京大学天文系)

提 要

本文介绍测定恒星距离的历史、现状以及150年来恒星测距工作的进展,评述当前测距工作存在的问题和发展前景,以及研究不同测距方法的意义和相互关系。

一、引 言

1987年6月,国际天文学会在法国巴黎召开会议,纪念巴黎天文台照相天图星表(Carte du ciel)国际合作100周年和恒星距离首次测定成功150周年^[1]。多少年来,人类企图测定恒星距离的事业屡遭挫折和失败。随着理论和技术条件的成熟,直到十九世纪三十年代后期,测定恒星距离才成为可能。1837年Bessel把他的量日仪指向天鹅座61星,并于1838年12月宣布这颗星的视差为 $0''.31$ 。第一颗恒星距离的测定终于获得成功。从此,测距工作不断取得进展。今天,人们不仅测定了银河系内数十万颗恒星和大量星团的距离,而且把测距工作伸展到银河系之外一百多亿光年的宇宙深处。

十九世纪三十年代以前,人们对恒星的距离一无所知。那个时代的天文学主要是方位天文。恒星距离测定的成功不仅宣布了日心学说的最后胜利,更为重要的是打开了探求恒星世界的大门。此后人类对宇宙的认识由太阳系逐步扩展到银河系、河外星系、总星系。可以说,天文学之所以能发展到今天这样的广度和深度,人类对宇宙物质系统的认识之所以在本世纪不断获得进展,其中一个重要原因应归功于恒星距离的成功测定以及近几十年来测距工作的不断发展。

具体来说,恒星距离的测定是研究银河系的大小、形状和结构的基础,是进行恒星运动学和动力学研究的依据,是测定恒星光度的先决条件,是直接测定恒星质量的前提,是广泛开展恒星天文学和天体物理学研究的根本。此外,测定恒星的距离也是测定河外星系的距离以及开展星系天文学研究的基础。天文学的发展离不开测距工作的发展。恒星距离测定的首次成功,无疑是十九世纪天文学的最大成就之一,而由哈勃定律所确立的红移-距离关系已成为整个河外星系天文学的一块基石,是观测宇宙学的起点。

现代的恒星测距方法很多,其基本原理大致可分为三角测量法,利用运动资料定距离以及利用恒星的光谱、光度资料定距离的方法^{[2],[3]}。

二、150 年来恒星测距工作的进展

从Bessel测定第一颗恒星的距离至今,人类已经历了一个半世纪。这期间,恒星测距工作不断获得发展,并直接推动了天文学的发展。

1. 三角视差

1903年,Schlesinger用叶凯士天文台1米折射望远镜测定三角视差,开创了用照相方法测定恒星三角视差的新纪元。此后几十年,阿列根尼、麦柯密克、范佛列克、斯普鲁尔、好望角和格林尼治等许多天文台相继开始视差测定工作,从而使恒星三角视差测定进入了高潮。至1963年前,共测定七千余颗恒星的一万个左右的视差值,发表在《恒星三角视差总表》及其补篇中,其中大都是亮星,暗于 14^m 的只有一百来颗[4],[5]。

六十年代以来,三角视差工作的重大进展主要表现在测量精度的提高和暗星视差工作的开展。大型电子计算机的应用保证了归算和分析工作成功地采用更完善的数学模型。自动坐标量度仪及时处理了大量的恒星底片,并使测量精度大为提高。如果用相对误差 $\sigma\pi/\pi$ 来表示视差测定值的质量,则1963年以前的一万个测定值中, $\sigma\pi/\pi \leq 0.2$ 的只有三百个左右,约占3%,而1963年以后的测定值大多数都超过了这个质量,并且精度还在进一步提高[6],[7]。

当前,三角视差工作最出色的是美国海军天文台。自六十年代以来,他们测定的视差数量近乎此期间全球所测总数的一半,而且都是暗星。此外,海军天文台的视差质量也是最优秀的,平均标准误差为 $\pm 0''.0039$ [8],[9]。

1980年,美国基特峰国家天文台用4米望远镜配上CCD进行试验性的三角视差工作。视差的内部精度可达到 $\pm 0''.002$,视差测定值与其他台站符合得很好。他们测定的恒星可以暗到 21^m ,这为暗星的三角视差测定工作开辟了新的前景[10]。

在纪念恒星距离成功测定150周年之际,我国上海天文台1.56米反射望远镜业已安装就绪,准备投入正式使用。1.56米望远镜主要用于测量 17.5^m 之内恒星的三角视差,测定值的外部精度将好于 $\pm 0''.004$,预计九十年代初发表用这架望远镜测定的第一个恒星三角视差表。这标志着我国的三角视差工作将跨入世界的先进行列[11],[12]。

耶鲁大学天文台即将出版的新版《恒星三角视差总表》包含7562颗恒星的14283个视差值。这是人类开展恒星三角视差测定工作150年的成果总结[13]。

2. 分光视差

1914年,美国威尔逊山天文台Adams和Kohlschutter发现利用恒星光谱中某些谱线的强度之比可以估计绝对星等,从而确定恒星的距离。1935年,Adams发表了4179颗恒星的分光视差值,估计平均相对误差为 ± 0.12 。

十九世纪末,美国哈佛大学天文台提出恒星光谱的一元分类。二十世纪四十年代,Morgan和Keenan提出了光度型这个概念。此后,这种二元光谱分类获得很大的发展,成为测定恒星分光视差的重要手段。

1957年,Wilson和Bappu发现晚型星光谱中的Ca II H及K线的反转发射线的宽度和绝

对星等之间存在一定的关系, 并由此提出测定分光视差的新方法, 绝对星等的误差估计为 $\pm 0.26^m$ [14]。

到七十年代初, 已测分光视差的恒星数已达六万余颗[15]。

近二十年, 分光视差工作又有很大的发展, 表现在有计划地对大量恒星作二元光谱分类, 进一步对恒星的光度进行更精确的校准, 以及星际消光研究的进展。

从1967年开始, 美国利用物端棱镜对HD星表中的全部恒星进行系统的二元光谱分类。这项工作正在进行之中, 并于1981年发表了MK光谱分类第五总表[16]。此外, 新的结果还在陆续公布[17-19]。这一计划完成之后, 将使二元分类的恒星数达到二十余万颗。

近年, 对正常早型星和晚型星的分类标准陆续作出详细的说明, 在改进标准星选择的同时又增加了标准星的数目。二元分类还在进一步考虑化学成分的参量[20]。

各类恒星的光度校准不断取得成果。1963年Blaauw给出的恒星光度校准表曾使用过多年。现发现其中不少结果受到系统误差的严重影响。新近的改进包括四色测光和 H_β 强度校准, H_β 强度的校准[21]、 $Mg II K$ 线发射宽度的Wilson-Bappu效应的研究[22], [23], 利用最大似然原理的统计视差的方法[24]以及利用星团距离校准光度等等。

关于星际空间存在消光物质的证据是1930年由Trumpler给出的。此后人们一直注意研究消光的规律以及消光物质的分布。今天, 星际消光的研究已进入蓬勃发展的阶段, 从早期的光学波段迈进了全波段范畴, 并结合采用空间仪器进行观测分析[25-29]。

3. 造父视差

1912年, Leavitt把小麦云里25颗造父变星的周期按大小排列起来时, 意外地发现了周期与光度之间的重要关系。1952年, Baade结论性地论证了造父变星的两个次型(星族I和星族II型)各有它们自己的周光关系和零点。1955年, Irwin首次在银河星团中发现了造父变星[30]。星团的距离可以利用多种方法测定, 因此, 星团中的造父变星成了校准周光关系的重要途径。1958年, Sandage指出, 周光关系中应包含颜色项[31]。从此, 开展了有关造父变星周光色关系的研究并一直延续至今[32], [33]。

近二十年来, 在周光关系研究中采用的方法, 除了统计视差法外, 还有移动星群视差法、星团主序拟合法、Baade-Wesselink方法以及理论模型拟合法等等[34]。

1983年, Fernie和McGonegal利用27个在星团或星协中的造父变星的资料, 建立了如下的周光关系[35]:

$$M_V = a + b \lg P,$$

其中

$$a = -1.61 \pm 0.10,$$

$$b = -2.882 \pm 0.084,$$

弥散非常小。相对于上述平均周光曲线来说, 对一个给定的周期 P , 绝对星等相差不大于 $\pm 0.3^m$ 。这些造父变星的资料来源不同, 观测误差也不相同, 而能得出弥散如此之小的周光关系, 这暗示周光关系的内在弥散比通常所想像的要小。

随着观测技术的发展, 最近McGonegal等人对星团星协中的造父变星进行了近红外J、H和K宽带测光, 并用于校准J、H、K周光关系, 斜率和零点可以同时得到[36]。

关于造父变星的周光关系,当前一般认为,至少在所研究过的全部星系中,存在一个普适的关系。这个周光关系的斜率各人所得的结果比较一致,但零点问题至今还有 0.5^m 的不确定性[37—39]。

4. 星团视差

本世纪三十年代,Charlier等人首先利用自行方向求移动星团的辐射点,并由此得出星团的距离。1970年,Upton提出由星团平均角直径的相对变化率确定距离的新方法[40]。Murray和Harvey于1976年提出应用辐射点方法测定移动星团成员星运动学视差的一个严格方法。他们利用星团成员星的自行和视向速度,对星团的运动和单个恒星的视差联合求解[41],[42]。

精确测定毕星团的距离在星团视差中占有特别重要的地位。毕星团距离的早期测定值都小于40秒差距。1952年, Van Bueren分析了GC系统中132个毕星团成员星的自行,提出了星团中心的距离为40.4秒差距的新值($m-M=3.03^m$)。1974年, Van Altena对毕星团距离的测定结果作了广博的评述,给出修正的距离值是44.0秒差距($m-M=3.21^m$) [43],[44]。七十年代后期,利用新的自行资料给出的距离模数为 $3.31^m \pm 0.06^m$ [45—47]; 由三角视差给出的毕星团平均距离模数为 $3.25^m \pm 0.08^m$ [45]。1980年, Hanson[45]对一些主要的测定结果加权平均后,给出毕星团的距离模数为 $3.30^m \pm 0.04^m$, 相应的距离是 45.6 ± 0.9 秒差距。此后,人们还在进一步寻求更精确的测定结果[48],[49]。

5. 统计视差

Herschel首先利用自行的 v 、 τ 分量求统计视差。这种经典方法至今还在应用。

近三十年,统计视差工作有了重大的进展,提出了基于最大似然原理的新方法。这种方法由Rigal在1958年提出,他假设绝对星等无弥散,自行也没有误差[50]。Jung推广了Rigal的算法[51],[52],考虑了绝对星等的弥散,研究了自行误差的影响。Heck进一步发展了Jung的工作[53],[54],除了能得到平均绝对星等外,还可以同时求出样本绝对星等的弥散、太阳相对于它的平均运动速度和对应的速度椭圆。这种方法同时利用自行和视向速度,以最少的假设条件、最佳的统计状态、最大限度地利用了观测资料,因而能获得最好的精度。

基于最大似然原理的算法,在测定星群绝对星等和运动参量方面获得了很大的成功。对迄今为止所考虑的各种恒星群,应用这个方法所得到的一系列结果是前后一致的,其中包括天琴RR型变星,长周期变星, Strömgren“中介”和“晚”群,晚型星, F型星, Hg-Mn星, Am星, Ap星, 海豚座 δ 型和盾牌座 δ 型星, G5-M3型巨星, F-G-K-M型星, B5-F5型矮星和巨星等等[24]。

6. 其他

1930年, Trumpler首次把星团主星序重叠法用于求银河星团的距离。

对于银河星团,现代一般由星团的复合 $m-c$ 图定出标准主序(零龄主序)作为比较的标准。由于移动星团距离测定的不断精确,特别是毕星团距离值的改进和三角视差精度的提高,确定标准零龄主序的工作也一直处于改进之中[56—59]。球状星团主序拟合常以水平支平均绝对星等为依据。近年把这个平均值取为 $M_V = 0.6^m$ 。

利用未受星际红化的天琴RR型变星所测得的距离,是建立银河系距离标度的基础之

—[60]。由于天琴RR型变星是比较理想的标准烛光, 因此它的光度校准是距离校准研究中的重要课题[61]。根据近几年的研究结果, M_V 的平均值为 0.6^m [62]。

此外, 对某些天体, 应用新技术、探索新方法的测距工作也不断获得发展和改进[63—69]。

三、评述与展望

短暂的150年的测距工作, 给天文学的发展带来了极其深远的影响。其中贡献最大的当推三角视差。事实上, 人类对宇宙空间特性的认识正是依据对地球最接近的宇宙邻域的精确的几何测量而得出的。更明确地说, 几百颗较近恒星的三角视差的测定, 是提供天文学基本信息的基础。在这个基础上, 人们才一步步创造出更多的测距方法, 从而把认识的目光不断推向更深更远的宇宙范围。其他各种测距方法, 一般都必须用三角视差来校准。它们是依靠三角视差的测距结果外推出去的。

显然, 要发展恒星测距工作, 首先必须重视三角视差的发展。这不仅因为三角视差是当前精度最高的视差, 它提供了太阳附近大量恒星的准确距离数据, 而且, 大量开展三角视差测定工作, 进一步提高三角视差的测量精度, 是改进其他各种视差精度的基础和前提。

当前, 三角视差的精度只能达到 $\pm 0''.004$ 。这表示, 离太阳距离为250秒差距的恒星, 所测视差的相对误差已达到100%。这个三角视差所及的范围与整个银河系的空间相比实在微不足道。这也大大限制了其他视差工作的发展。

长期以来, 三角视差的工作主要依靠长焦距折射望远镜。美国海军天文台的高精度反射望远镜及其高精度自动量度仪的使用, 把三角视差工作推进到了又一个新时代: 观测、量度、计算、理论的现代化新体系。

空间天体测量学的发展开创了三角视差工作的新纪元。由于大气湍流、大气折射、地球的运动和全天空测量结果的不一致性等等因素的影响, 使地面天体测量的精度不可能再有数量级的提高。而这些因素对空间天体测量不复存在。因此, 空间时代的天体测量学的开创, 宣告了天体测量的崭新时代, 它为天体测量工作展现了美好的前景[70]。

计划于二十世纪八十年代后期发射的欧洲的伊巴谷(Hipparcos)卫星和美国的空间望远镜是天文学史上空前的壮举。这两个计划的完成将直接推动整个天文学(包括三角视差工作)的飞跃发展。伊巴谷卫星计划在额定的2.5年工作期间精确测定全天均匀覆盖的十多万颗恒星(大部分亮于 10^m)的位置、自行和三角视差, 测量精度均达到 $\pm 0''.002$ [71]。回顾三角视差的测量历史, 150年间通过几代人的艰苦努力, 所测得的恒星数不足一万颗, 测量精度平均只有 $\pm 0''.009$ 。相形之下空间技术的成果实在令人鼓舞。空间望远镜10秒钟积分时间可以观测到 17^m 星, 15%的时间用于天体测量工作, 虽然只提供为数不多的相对三角视差数据, 但它观测的对象是暗星, m_0 可达 20^m , 预期精度将好于 $\pm 0''.001$ [72]。

由于空间天体测量费用昂贵, 对工艺技术水平的要求又极高, 因此近期内空间观测不可能取代地面的工作。从伊巴谷卫星和空间望远镜的发射计划一再推迟也说明了这一点。在发展空间技术的同时, 进一步提高地面三角视差的测量精度, 并不断扩大观测的数量, 把空间

观测结果与地面结果进行长期的比较,这可能是今后相当长一段时间内三角视差工作的发展方向。

银河系体积浩大,恒星为数众多,企图依靠三角视差来完成恒星距离的测定工作是决不可能的。伊巴谷卫星的视差测定距离不过 500 秒差距,有效范围也只能是银河系的极小一部分。因此,同时开展其他视差的工作,才是最终解决测量恒星距离问题的必由途径。而在其他视差中,优先发展光度视差具有特别重要的意义。

来自恒星的观测信息,除几何位置和运动资料外,大量的光谱和光度。这决定了光度视差的重要地位。事实上,迄今已测的恒星距离大部分属于光度视差。

由于光电测光的精度现代一般可达到 $0.01^m - 0.02^m$,当忽略视星等的观测误差后,由绝对星等、视星等、视差和星际消光量之间的关系可得

$$2.17 \frac{d\pi}{\pi} = dM + dA$$

因此,测定光度视差的精度主要取决于测定恒星绝对星等的准确性和正确进行星际消光的改正。

测定一类恒星绝对星等的方法是多种多样的,例如,测定特征谱线相对强度之比,谱线的宽度及某些特征细节, Wilson-Bappu 效应及其新的发展,某些物理变星的周光关系,星团、星协的主序拟合等等。这些方法的基础来源于近距恒星的统计规律,直接或间接与三角视差的测定结果有关。这就涉及到测定恒星距离的一个哲学思想:同一类型的恒星,它们的光度、颜色、大小、年龄等等物理特征和化学成分,是否与它们在银河系中的位置有关,是否与它们处于恒星的集团之中或是单个存在有关?银河系内的恒星是否与河外星系中的同类天体具有相同的物理特征、化学成分和年龄?如果回答是肯定的,则可以此建立用物理方法测量恒星距离的基本思想。事实上也正是这样做的。但是,用这种方法建立的距离尺度还必须通过由近及远逐级过渡来加以比较和验证。测量宇宙距离的工作好比攀登一个无限的天梯,三角视差构成了第一级。第二级如何建造,跨步多大,这必须以第一级为基础,又依附我们建造第二级的基本思想和观测条件,并通过自治体系来检验。

正确划分恒星光度的类别,是精确校准各类恒星光度的前提。从一元光谱分类到二元分类是一个很大的发展。但二元光谱分类仍然还有不少问题需要进一步解决。例如,关于标准星的选择和精确确定它们的分类指标问题,同类恒星光度校准存在着差别的问题,二元分类如何向包含丰度的指标方向发展的等等。这些问题关系到二元分类今后发展的方向。

同类恒星光度校准之间的差别,给光度距离的测定带来一定的不确定性。特别是对于 A、F 型星,因为经常出现的转动,大的磁场,局部的丰度对表面的影响,以及在赫罗图这一部分光度型 V、IV、III、II 之间分开较小等等原因,使光度分类产生很大的困难,光度校准之间的差别有时大到超过 0.5^m 。此外,对于较亮的超巨星,光度校准的不确定性甚至达到 1^m 。面对校准中存在的差别,除不断改进校准本身出现的问题外,重新研究光谱分类的科学性和合理性以及在同一光谱光度型中寻找新的进一步区分光度的指标,可能是今后光度距离研究

中不可忽视的方向。

如果 MK 二元分类只限于“正常”成分的恒星,则还有不少的恒星将处于这一分类系统之外,其中包括大量的弱线(贫金属)星。实际上,从极弱线的晕星到正常太阳成分的星到强线星,它们形成了一个连续的序列。不同星族群之间存在这样连续变化的序列自然暗示应该把通常的 MK 分类扩展到包括尽可能多的“特殊”天体,并以丰度指标来表征它们的特性。这涉及到二元分类进一步的修正和发展。

无疑,测距工作的发展要求现今的光谱、光度分类工作有相应的发展。这与理论的发展以及观测技术的改进是相辅相成的。

精确测定较近恒星的光度是校准各类恒星光度的基础。在这里,星团视差和三角视差起着相互补充的作用。因为利用移动星团方法定出的视差是一种独立的绝对测量,它不依附于三角视差而能给出精度很高的视差值,再加上有几类恒星在太阳附近为数很少,只能借助于星团视差来定光度,因此移动星团成员星的光度常被用来作为各种类型恒星光度的基准。而毕星团的距离,实际上已成为宇宙距离标度校准的一个基本出发点。此外,精确测定毕星团的距离还涉及到恒星演化的研究以及有关自行和自行分析等天体测量工作的重大问题。显然,随着自行和三角视差测量精度的提高,毕星团的距离值将更加精确,而空间望远镜和伊巴谷卫星的发射,必将使毕星团距离的测量精度获得显著的改善。

被誉为量天尺的造父视差,对河内和河外距离标度的校准都有很大的作用。当前周光关系的零点问题还有较大的不确定性,亟待解决。空间望远镜预定通过测定遥远的(室女星系团中的)造父变星以使宇宙距离标度获得改进。此外,多色测光的发展,例如对星团和星协中的造父变星进行的红外测光,可以用来校准红外周光关系。因为这种红外周光关系所受到的消光、金属含量以及其他方面的影响,都比光学波段情况下的要显著减小,它可能成为解决周光关系的一个值得重视的发展方向。

在光度距离中,星际消光的研究与恒星的光度校准具有同等重要的地位。早期的光度视差都未作消光改正,因此是不准确的。近二十年,星际消光的研究虽然有了很大的发展,结合利用空间技术从光学波段发展到红外和紫外的全波范畴,但仍然有不少问题长期悬而未决。对于平均消光曲线上的精细结构,特殊区域和特殊天体的消光规律,星际尘埃的热辐射性质以及弥漫星际特性的研究等等问题,还有进一步研究的必要。1988年7月底,在美国加利福尼亚将召开国际天文学会第135次讨论会,专门讨论星际尘埃问题^[73]。这将把星际消光的研究推向一个更新的阶段。

150年的恒星测距历史是成果辉煌的。虽然我们还面临着重重困难,道路曲折,但前途充满着光明。随着理论研究的不断深入,对恒星本质认识的逐步提高,观测技术和计算条件的进一步改善,以及空间望远镜和伊巴谷卫星预期取得的成果,恒星距离的测定工作在近期内将一定能获得前所未有的快速发展。

参 考 文 献

- [1] IAU Symp., Mapping the Sky, No. 133, (1988).
- [2] 戴文赛, 恒星天文学, 科学出版社, (1965).

- [3] 容建湘, 恒星天文学, 高等教育出版社, (1986).
- [4] Jenkins, L. F., General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes, Yale University Observatory, (1952).
- [5] Jenkins, L. F., Supplement to the General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes, Yale University Observatory, (1963).
- [6] Uppgren, A. R., IAU Symp., No. 111, p. 31, (1985).
- [7] 赵君亮, 天文学进展, 2 (1984), 149.
- [8] Harrington, R. S. and Dahn, C. C., *A. J.*, **85** (1980), 454.
- [9] Dahn, C. C. et al., *A. J.*, **87** (1982), 419.
- [10] Monet, D. G. and Dahn, C. C., *A. J.*, **88** (1983), 1489.
- [11] Wan, L. et al., IAU Symp., No. 109, p. 275, (1986).
- [12] 王家骥, 天文学进展, 3 (1985), 280.
- [13] Altena, W., IAU Symp., No. 109, p. 183, (1986).
- [14] Wilson, O. C. and Bappu, M. K., *Ap. J.*, **125** (1957), 661.
- [15] Куликовский, П. Г., *Звездная Астрономия Наука*, стр. 46, (1985).
- [16] Buscombe, W., Catalogue Published by Dearborn Obs., USA, (1981).
- [17] Houk, N., Catalogue Published by the Department of Astronomy, Univ. of Michigan, USA, (1982).
- [18] Bartaya, R. A., *Bull. Inf. Cent. Donnees Stell.*, (1983), No. 24, 93.
- [19] Hoffleit, D. and Jaschek, C., Catalogue Published by Yale Univ. Obs., USA, (1982).
- [20] Keenan, P. C., IAU Symp., No. 111, p. 121, (1985).
- [21] Millward, C. G. and Walker, C. A. H., IAU Symp., No. 111, p. 377, (1985).
- [22] Weiler, E. J. and Oegerle, W. R., *Ap. J. Suppl.*, **39** (1979), 537.
- [23] Parthasarathy, M., IAU Symp., No. 111, p. 381, (1985).
- [24] Heck, A., IAU Symp., No. 111, p. 373, (1985).
- [25] Nazarov, E. A. and Khodyachikh, M. F., *Astrometr. Astrofiz.*, **48** (1983), 33.
- [26] Voshchinnikov, N. V., *Astrophysica*, **24** (1986), 179.
- [27] Krelowski, J., et al., *A. Ap.*, **166** (1986), 271.
- [28] Rolfe, E. J., *New Insights in Astrophysics: 8 Years of UV Astronomy with IUE*, London, UK, (1987).
- [29] Salinari, P., in *Frontiers of Astronomy and Astrophysics*, ed. by R. Pallavicini, (1984).
- [30] Irwin, J. B., *A. J.*, **63** (1958), 197.
- [31] Sandage, A., *Ap. J.*, **127** (1958), 513.
- [32] Gieren, W., *Ap. J.*, **282** (1984), 650.
- [33] Mcalary, C. W. et al., *Ap. J.*, **276** (1984), 487.
- [34] Stothers, R. B., *Ap. J.*, **274** (1983), 20.
- [35] Fernie, J. D. and McGonegal, R., *Ap. J.*, **275** (1983), 732.
- [36] McGonegal, R. et al., *Ap. J.*, **269** (1983), 641.
- [37] Fernie, J. D., *Reports on Astronomy, Transactions of the IAU Vol. XIXA*, (1985).
- [38] Madore, B. F., IAU Colloquium, No. 82, Cambridge Univ. Press, (1985).
- [39] Madore, B. F. and Tully, R. B., in *Galaxy Distances and Deviations from Universal Expansion*, D. Reidel Publishing Company, (1986).
- [40] Upton, E. K. L., *A. J.*, **75** (1970), 1097.
- [41] Murray, C. A. and Harvey, G. M., *R. Greenwich Obs. Bull.*, **182** (1976), 15.
- [42] Murray, C. A., *Vectorial Astrometry*, Adam Hilger Ltd, Bristol, pp. 306, (1983).
- [43] Van Altena, W. F., *Publ. Astron. Soc. Pac.*, **86** (1974), 217.
- [44] Hanson, R. B., *A. J.*, **80** (1975), 370.
- [45] Hanson, R. B., IAU Symp., No. 85, p. 71, (1980).
- [46] Hanson, R. B., *Bull. AAS.*, **9** (1977), 585.
- [47] Carpenter, M. S., *Neighborhood Meeting on the Distance Scale*, Yale, Univ., (1977).
- [48] Detweiler, H. L. et al., *A. J.*, **89** (1984), 1038.

- [49] Hauck, B., *A. Ap.*, **99** (1981), 207.
- [50] Rigal, J. L., *Bull. Astron. Paris*, **22** (1958), 171.
- [51] Jung, J., *Bull. Astron. Paris, Ser III*, **3** (1968), 461.
- [52] Jung, J., *A. Ap.*, **4** (1970), 53.
- [53] Heck, A., Thesis, Univ. Liege, (1975).
- [54] Heck, A., *Quelques methodes de determination de la magnitude absolue*, ed. by Centre de Données Stellaires, Strasbourg, (1976).
- [55] Heck, A., *Vistas in Astron.*, **22** (1978), 221.
- [56] Turner, D. G., *A. J.*, **92** (1986), 111.
- [57] Turner, D. G., *A. J.*, **86** (1981), 222, 231.
- [58] Mermilliod, J. C., *A. Ap.*, **97** (1981), 2351.
- [59] Pedreros, M. H., Thesis, University of Toronto, (1984).
- [60] Graham, J. A., *IAU Symp. No. 84*, p. 195, (1979).
- [61] Feast, M. W., *Galaxy Distances and Deviations from Universal Expansion*, D. Reidel Publishing Company, 7, (1986).
- [62] Strugnell, P. R. et al., *M. N. R. A. S.*, **220** (1986), 413.
- [63] Murray, C. A., *IAU Symp.*, No. 109, (1986).
- [64] Hirabayashi, H., *Proceedings of the Symposium on Application of Space Techniques to Astronomy and Geophysics*, (1986).
- [65] Jaschek, C., *Astron. Nachr.*, **307** (1986), 53.
- [66] Herman, J., *ESAJ.*, **9** (1985), 467.
- [67] Kolesnik, I. G. and Yurevich, L. V., *Astrophysics*, **19** (1983).
- [68] Hayes, D. S. et al., *IAU Symp.*, No. 111, (1985).
- [69] Wielen, R., *Structure and Dynamics of the Galactic System*, Heidelberg, (1986).
- [70] 李正心, *天文学进展*, **4** (1986), 53.
- [71] Kovalevsky, J., *Prospects for Space Stellar Astrometry*, (1984).
- [72] Cornell, J. and Carr, J., *Infinite Vistas, New Tools for Astronomy*, Charles Scribner's Sons, (1985).
- [73] *IAU Symp. No. 135*, (1989).

(责任编辑 林一梅)

150 Years of Determining Stellar Distances

Rong Jianxiang

(Department of Astronomy, Nanjing University)

Abstract

In this paper, the history, current situation and the advances for the past 150 years on determination of stellar distances are described. The present problems in distance determination of stars, the purposes of studying various parallaxes and their prospects are discussed, too.