

文章编号 :1007 - 9831(2004)01 - 0032 - 04

天体距离测量的理论依据

刘晓军 ,高广君 ,王治金

(齐齐哈尔大学 物理系 ,黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘要 :通过对天体距离测定的方法和理论的分析与研究 ,提出物理理论在天体距离测量中的应用 ,得出天体距离测定方法的适用范围和现有数据的误差 ,以及有待解决的问题。  
关键词 :天体 ;距离 ;测量理论  
中图分类号 :P126 文献标识码 :A

在天文学中关于天体距离的测定是一个重要的基本问题 ,了解天体距离是认识天体其它性质的基础和前提 .天体距离的实际测定是一个复杂艰巨的过程 ,依赖于大量的物理学理论的支持 .

1 地球和月球距离的测定

18 世纪 ,法国的拉卡伊和拉朗德分别同时在柏林天文台和南非好望角天文台观测月球 .测量原理如图 1 所示 .选月球一点 S 作为观测点 ,在地球赤道上 M 点观测 ,当 S 正好处于地平线上时 ,由 SMO 可知 ,若测得  $\varphi_0$  ,一般将  $\varphi_0$  称为赤道地平视差 ,则 S 与地球球心的距离为 :

$$d = R_0 / \sin \varphi_0 \tag{1}$$

图 1 地平视差

赤道地平视差  $\varphi_0$  可用下面方法测出 (见图 2) ,在地球上某点 A 处观察 S ,设 A 的地理纬度为  $\phi_1$  ,S 的地理纬度  $\delta$  ,当 S 过 PZP 圈时 ,Z 为天顶 ,测得其天顶距 (天体离开天顶的距离 ,用角度表示) 为角  $\theta_1$  ,其视赤道为  $\delta_1$  ,则有 :

$$\theta_1 = \phi_1 - \delta_1, \quad \delta_1 = \phi_1 - \delta, \quad r = \theta_1 - \delta_1 = \phi_1 - \delta_1$$

(2)

由正弦定理可得 :  $\frac{R_0}{\sin(\phi_1 - \delta_1)} = \frac{d}{\sin(\phi_1 - \delta_1)}$

将式 (1) 代入式 (2) 得

$$\sin(\phi_1 - \delta_2) = \sin \varphi_0 \sin(\phi_1 - \delta_1)$$

(3)

在与 A 处同一地理经线上的另一地点 B 作同样的观测 (B 点与 A 点尽量远些 ,最好一在南纬一在 北纬) ,设 B 点的地理纬度为  $\phi_2$  ,测得 S 的视赤道为  $\delta_2$  ,于是也有 :  $\sin(\phi_2 - \delta_2) = \sin \varphi_0 \sin(\phi_2 - \delta_1)$

由 (3) 式减去 (2) 式可得

$$\sin \varphi_0 = \frac{\sin(\phi_2 - \delta_2) - \sin(\phi_1 - \delta_1)}{\sin(\phi_2 - \delta_2) - \sin(\phi_1 - \delta_1)} \tag{4}$$

图 2 地月距离的测定

由于月球离地球的距离远大于地球半径 ,因此  $\phi_1 - \delta_1, \phi_2 - \delta_2$  都非常小 ,于是 (3) 式可变为 :  $\sin \varphi_0 = \frac{\phi_1 - \delta_2}{\phi_2 - \delta_2 - \phi_1 - \delta_1}$  .这样 ,只要由观测值  $\phi_1, \phi_2$  则可求出  $\sin \varphi_0$  ,进而可由 (1) 式求出地球到月球的

距离  $d$ . 用这一方法可求出月球平均赤道地平视差为  $1.66 \times 10^{-2} \text{ rad}$ , 因而求得月球到地球的距离为  $(384\,401 \pm 1) \text{ km}$ . 现代采用激光技术直接测量了月—地距离, 使测月精确度达到  $8 \text{ cm}$  左右.

2 太阳和地球距离的测定

太阳和地球距离的测量, 采用间接测量法. 一般是选用离地球比较近, 视差比较小的行星. 通过测量这些行星的视差, 再由行星的运动规律算出太阳的视差, 如图 3 所示.

设太阳中心为  $S$ , 地球球心为  $O$ , 选取的行星为  $M$ ,  $SO$  的距离为  $a$ ,  $SM$  的距离为  $a_1$ , 将地球看成球体, 半径为  $R$ , 则由  $S$

$R = a \sin \theta_0 = (a_1 - a) \sin \theta_1$  可得:

$$\sin \theta_0 = (a_1/a - 1) \sin \theta_1 \tag{5}$$

式中,  $\sin \theta_1$  可以用月—地测量法测出, 选定行星的视差  $\theta_1$ , 为了便于问题分析起见, 视地球和小行星的运动轨道平行, 且为正圆形, 则只要我们测出行星绕太阳运动周期  $T_1$ , 地球绕日公转周期是已知的, 则根据开普勒第三定律, 可得:

$$a_1/a = (T_1^2/T^2)^{1/3} \tag{6}$$

将此式代入 (5) 式即可求出  $\sin \theta_0$  或  $\theta_0$ , 进而由 (1) 式可求出太阳到地球的距离.

现代天文单位的数值是通过先测定“天文单位距离的光行时”, 然后再推导出天文单位距离. 天文单位距离的光行时是电磁波通过一个天文单位距离所经历的时间, 用  $a$  表示, 它与天文单位与光速的关系为  $C a = A$ .  $a$  的测定是用大行星的雷达测距. 根据天体力学理论, 可以精确地推算出行星到地球的距离与日—地平均距离之比. 利用这个方法可以更精确地测得日—地距离.

3 恒星距离的测定

在恒星距离的测定中, 不断观测天体总结规律. 当地球在  $A$  点时, 看到某恒星在天空的  $A'$  点, 当地球运动到  $B$  点时, 看同一颗恒星在  $B'$  点, 这样, 在 1 年之内, 这些描出的位点一般构成椭圆, 它的长轴与黄道平行, 半长轴所张的角等于恒星的周年视差, 也有些特殊位置的恒星可成圆或一段直线. 我们以太阳到恒星的距离  $r$  为弦, 以地球和太阳的平均距离  $a$  为最短边所构成的直角三角形的最小角  $\alpha$  为周年视差, 如图 4 所示. 恒星的周年视差可由相隔半年的 2 次恒星位置的测定计算出来. 由于恒星离太阳很

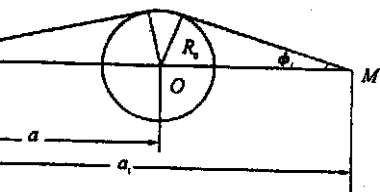


图 3 太阳距离的测定

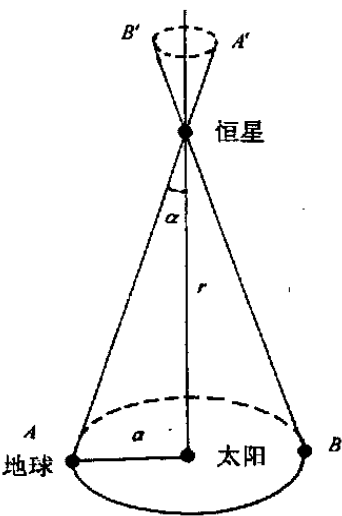


图 4 恒星距离的测定

远, 周年视差很小, 若  $\alpha$  用弧度表示,  $a$  用天文单位表示, 则  $r, a, \alpha$  三者关系为  $r = \frac{a}{\alpha}$ .

只要测出周年视差, 就可以算出恒星距离  $r$ , 这种通过测周年视差来求恒星距离的方法叫做周年视差法. 测定周年视差的方法有很多, 下面分别研究几种测周年视差的方法.

3.1 三角视差法

如图,  $P$  代表被测恒星,  $E_1$  和  $E_2$  是地球在公转轨道上相隔半年的位置.  $P_1$  和  $P_2$  是由更遥远天体构成的天空背景. 地球位于  $E_1$  时, 地球上的观测者看到恒星  $P$  位于天空背景  $P_1$  点, 半年后观察位于  $P_2$ . 这 2 颗星之间的角距离的一半, 就是恒星的周年视差. 这种方法现代测量精度在  $\pm 6.3 \times 10^{-8} \text{ rad}$  和  $\pm 1.9 \times 10^{-8} \text{ rad}$  之间. 距离等于 100 秒差距时, 恒星视差为  $4.8 \times 10^{-8} \text{ rad}$ , 与测量误差相当. 所以这种方法适用于测定距离小于 100 秒差距的近距星.

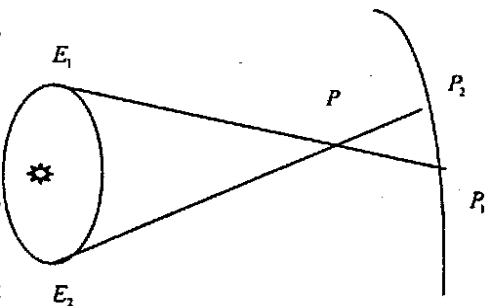


图 5 三角视差法

### 3.2 分光视差法

在天文学上恒星的亮度都是用星等来表示,把直接测量到的天体亮度  $E$  来定义的星等称为视星等,用  $m$  表示,而把天体置于 10 秒差距的距离处所得到的视星等称为绝对星等,用  $M$  表示.同时把天体此处所具有的亮度用  $E^*$  表示.根据普森公式  $m = a - \lg E$ ,式中  $a$  为常数,若以零等星的亮度为单位,则普森公式可为  $m = -2.5 \lg E$ ,根据光学知识可知亮度和距离的平方成反比,故有

$$E^*/E = r^2/10^2 \quad (7)$$

根据绝对星等的定义,可得

$$M = -2.5 \lg E = m + 5 - 5 \lg r \quad (8)$$

根据视差 (用角秒为单位) 与距离  $r$  (用秒差距为单位) 的关系  $r = 1/p$  可得

$$M = m + 5 + 5 \lg p \quad (9)$$

恒星的绝对星等能够由恒星的谱线强度测得,而视星等测  $m$  又可直接观测到,根据 (8) 式就可以求出恒星的周年视差或距离.分光视差法可以测得 100 秒差距以外的天体,但也有一定的范围.因为拍摄这种方法要得到恒星的光谱,但一般用 5 m 口径的望远镜,拍摄绝对星等为 0 等的恒星,当它距离超过 100 千秒差距时,就很难得到他的光谱.

### 3.3 造父变星视差法(造父视差法)

1912 年,美国女天文学家勒维特在研究小哲伦星云的造父星中发现了造父变星的光度与周期之间有密切的关系,周期愈长,光度愈大,这种关系称为周光关系.周光关系曲线是以绝对星等为纵坐标,以周期为横坐标.如图 6 所示为天琴 RR 型造父变星的周光关系.1952 年,美国威尔逊山和帕洛玛山天文台巴德结论性地论证了造父变星的 2 个次型(星族 I 型和星族 II 型)各有自己的周光关系和零点.经过众多天文学家的研究,对星族 I 型造父变星来说,目前周光关系可采用

$$M_p = -0.80 - 1.74 \lg P \quad (10)$$

对于星族 II 型造父变星来说,周光关系可为

$$M_p = -0.35 - 1.75 \lg P \quad (11)$$

通过观测定出造父变星的光变周期  $P$ ,然后通过周光关系就可以确定它的绝对星等  $M$ ,把  $M$  代入 (8) 或 (9) 式,就可以求出恒星的距离,用上述方法得出的光度视差称为造父变星视差.由于造父变星视差把分光视差所能测量的范围向前推进了一大步.因此把造父视差称为量天尺.银河系的大小就是运用造父视差法测定的.造父视差法能够测定的距离范围是 5 百万秒差距.

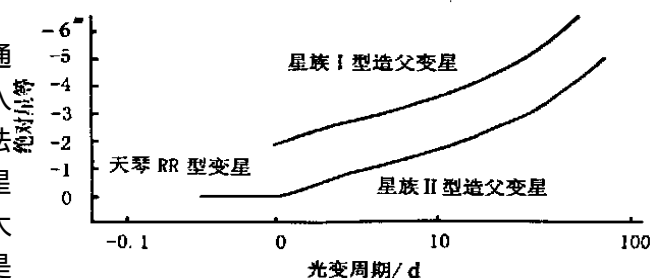


图 6 造父变星的周光关系

### 3.4 哈勃红移法

1929 年,美国威尔逊山天文台哈勃发现,河外星系的光谱具有红移,并且红移量平均正比于到星系的距离.哈勃进一步研究指出,这个规律对所有星系也是正确的,具有普遍性,用公式可表示为:

$$r = cZ/H \quad (12)$$

其中  $H$  为哈勃常数,它的单位为  $\text{km/s} \cdot \text{百万秒差距}$ ,一般取值  $50 \sim 70$ ,  $c$  为光速,  $Z$  为红移量,它的大小为:

$$Z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \quad (13)$$

为原来的波长,  $\lambda$  为波长的变化量.对一个星系来说,不同谱线的红移量为同一个常数.这样可以将由红移计算出来的河外星系的视向退行速度  $v$  与星系的距离  $r$  联系起来,那么哈勃定律就为:

$$v = Hr \quad (14)$$

因为遥远星系的红移量很大,因此在计算退行速度时要用相对论的多普勒公式

$$v = c \frac{(Z+1)^2 - 1}{(Z+1)^2 + 1} \quad (15)$$

必须强调 (12) 式是从观测中直接得到的,但从物理角度来考虑,内在的关系应该是 (14) 式.实际上 (12) 式是 (14) 式和 (15) 式在  $Z \ll 1$  的情况下取近似的结果.

哈勃红移法的优点是对所有星系普遍适用. 但缺点是哈勃常数准确取值并不容易. 另外红移法是在天体的辐射有谱线, 并且能测出其波长变化时才能运用, 如果天体的辐射只有连续谱线, 那就无法测出红移值, 这样红移法就无法采用.

以上所讲的是天体测定距离常用的理论方法, 除此之外还有很多方法. 每一种方法都有一定的适用范围和局限, 都有各自的优缺点. 因此在实际进行天体测量中可以通过多种方法互相校核, 反复实验, 反复视测, 以提高测量的准确度.

参考文献 :

[1] 张钰哲. 中国大百科全书. 天文学[M]. 上海 :中国大百科全书出版社 ,1980.

[2] 卞毓麟. 星星离我们多远[M]. 北京 :科学普及出版社 ,1980.

[3] 林中四郎, 早川幸男. 宇宙物理学[M]. 北京 :科学出版社 ,1981.

Research on theories basis that measure of heavenly body distance

LIU Xiao - jun ,GAO Guang - jun ,WANG Zhi - jin

(Department of Physics ,Qiqihar University ,Qiqihar 161006 ,China)

**Abstract :** Passes method towards heavenly body distance measurese with the theories analysis and research ,and bring up the physics theories in the heavenly body distance to measure the inside 's application ,and get the heavenly body the distance to measurese the method 's suitable for use scope with the error margin of the current data ,and need the solution 's problem.

**Key words :** heavenly body ; distance ; measure the theories

(上接第 20 页)

参考文献 :

[1] 同济大学数学教研室. 高等数学 (第 3 版 ,下) [M]. 北京 :高等教育出版社 ,1988. 71 - 75.

[2] 施学瑜. 高等数学教程 (第 2 版) [M]. 北京 :高等教育出版社 ,1986. 94 - 101.

[3] 李敏君, 邱荒逸. 用矢量法证明开普勒三定律[J]. 高师理科学刊, 2000, 20(4) :25 - 27.

[4] 姚德生. 理论力学习题分析与解答[M]. 北京 :水利出版社 ,1981. 155 - 156.

[5] 钟 集. 高等几何[M]. 北京 :高等教育出版社 ,1984. 238 - 246.

Evaluating the extrema of function of several variables  
with vector representation

QIU Huang - yi

(Jiangyin Polytechnic College ,Jiangyin 214431 ,China)

**Abstract :** Vector representation is the method most frequently used in engineering. It is also most understandable and acceptable to engineering technicians. This paper discusses the extrema of function of several variables with vector representation and examples are given.

**Key words :** vector representation ; function of several variables ; conditional extrema