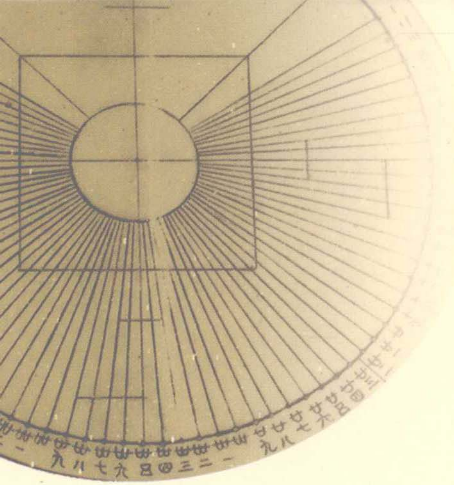

数学与科学史丛书

名誉主编　吴文俊

丛书主编　曲安京

日食与视差

⊙ 唐　泉／著

科学出版社

数学与科学史丛书

日食与视差

唐 泉 著

国家自然科学基金
陕西省重点学科资助项目
中国博士后科学基金
咸阳师范学院学术出版基金
资助出版

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书全面、翔实地论述了古希腊、古代印度、阿拉伯和中国数理天文学中视差算法的原理与精度，以及视差对日食食甚、食分和起讫时刻的影响。书中解决了传统日食理论和视差理论中的一些遗留问题，构建了日食时差算法的天文模型，较为清晰地勾勒出传统视差理论的发展脉络。

本书适于科学史工作者、数学和天文学工作者，以及相关专业的高校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

日食与视差／唐泉著．—北京：科学出版社，2011

（数学与科学史丛书）

ISBN 978-7-03-030457-5

Ⅰ.①日…　Ⅱ.①唐…　Ⅲ.①日食－视差－研究
Ⅳ.①P125.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 035919 号

丛书策划：孔国平

责任编辑：孔国平　郭勇斌　樊　飞　王日臣

责任校对：刘小梅／责任印制：赵德静／封面设计：陈　敬

编辑部电话：010－64035853

E-mail：houjunlin@mail.sciencep.com

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

http://www.sciencep.com

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行　各地新华书店经销

*

2011年4月第　一　版　开本：850×1168　1/32
2011年4月第一次印刷　印张：10
印数：1—2 500　　字数：260 000

定价：38.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

总　　序

中华民族正濒临伟大复兴的前夕，科学技术是第一生产力，科技力量的强大无疑是实现民族复兴的决定性关键因素。

中国科学技术源远流长，在历史上众多方面有无数重大贡献，绝非仅仅是通过丝绸之路传至西方的所谓“四大发明”而已。由于本人是数学工作者，试就中国古代对数学的贡献略志数语如下。

提起数学，我们通常会想到古希腊欧几里得逻辑推理的演绎体系与相应的定理证明。在它的影响下，形成了绚丽多彩的现代数学。古希腊对数学的这种影响与成就，自然是不可磨灭而应该为国人所向往与虚心学习的。

与欧几里得体系不同，中国古代的数学家重视实际问题的解决，由此自然导致多项式方程（组）的求解与相应算法的发现。对方程研究的不断深化，也逐步导致正负数、分数即有理数、（开方型）无理数，以及不尽小数即一般无理数的引入及其计算与极限等规律的发现。这在公元 263 年刘徽的《九章算术注》中即已完成。而在欧洲，则直至 19 世纪 Weierstrass 与 Cantor 等时代，才以繁复而不甚自然的形式实现了实数系统的完成，其中还出现过所谓的数学危机。

不仅如此，我国宋元时期天元概念的引入与天元术的创立，其成就之一是导致解多变量多项式方程组的一般思路与具体方法。20 世纪 70 年代我国的数学家们正是由于研习中国古代数学的启发，建立了解多项式方程组的一般方法，并由此创立了数学的机械化体系，取得从理论以至实际的多方面应用。特别是成功地应用于（初等与微分）几何定理的机器证明，为计算机

时代脑力劳动的机械化开其先河。这不能不归功于中国古代数学所蕴含的思想与方法的深邃内容。

在科学、技术，以至医药、农牧业、地理与制图、水利、工程与机械制造等诸多方面，中国古代也有着辉煌的成就。试以天文学为例，我国是天文学发达最早的国家之一，早在新石器时代中期，我们的祖先已开始观天象，并用以定方位、定时间、定季节。我国历代都有历法，相传黄帝时代即已有之。不仅如此，历代还设置观察天文现象的专职官吏，传说颛顼时代就已有“火正”的官。

由于制历与天象观察都需要数学的帮助，因而中国古代数学的许多成就往往散见于历代的天文历法与有关著作之中。例如，有着悠久发展历史的招差术，主要见于历代的历法之中，在元代历法中实际上已有接近于微积分中麦克劳林级数的内容。

本丛书主编曲安京教授是天文学史方面有突出贡献的著名专家，中国古代天文成就的详情可参看本丛书中曲安京所著《中国历法与数学》和《中国数理天文学》两书。至于其他方面，可参阅李约瑟的《中国科学技术史》及国内出版介绍中国科学技术史的有关著作。

聊志数语，以贺本丛书在曲安京教授的精心策划之下，取得巨大的成功。

吴文俊

2005年12月22日

目　　录

第一章　绪　　论

现代天文学家能够非常精确地预报日食，但对古代天文学家而言，日食计算是一件非常困难的事情，其中的主要原因是月亮视差一直困扰着他们。视差理论在古希腊、古代印度、阿拉伯和中国等文明的日食理论中占有非常重要的地位，日食计算中的许多项目，如日食食甚、日食食分和日食起讫时刻等都与月亮视差有关。对古代天文学家来说，日食计算的精度在很大程度上取决于视差算法的优劣。本书的主旨，就是详细阐述古希腊、古代印度、阿拉伯和中国数理天文学中的视差理论以及视差在日食计算中的应用。

第一节　视差概念

在现代天文学中，天体视差指的是观测者在两个不同位置看同一天体的方向之差。视差的大小，通常用观测者的两个不同位置之间的距离（又称为基线）在天体处的张角来表示，这个角度等于两个观测地点到该天体的连线在天球上的两个几何投影点之间的弧段。在实际应用中，只有当两个观测点之间的距离小于观测者与被观测天体的距离时，视差才有意义。

天体视差与天体到观测者的距离之间存在着简单的三角关系，测出天体的视差，就可以确定天体与观测者之间的距离（即天体距离）。因此，天体的视差测量是确定天体距离最基本的方法，称为三角测量法。

由于天体的距离都很遥远，它们的视差很小，因此要精确测定它们的视差，必须尽可能将基线拉长。在测定太阳系内一

些天体的视差时，通常以地球的半径作为基线，所测定的视差称为周日视差。在测定恒星的视差时，通常以地球和太阳之间的平均距离作为基线，所测定的视差称为周年视差。①

一、周日视差

由于所有的恒星都离我们很远，因此观测者在地球范围内的移动不会引起这些恒星的任何视差位移。但对于太阳系内的天体，如太阳、月亮和行星等，这样的位移则不能忽略。为使太阳系内的天体，如太阳、月亮或行星的一切观测可以进行互相比较，必须预先将这些观测归算到一个标准参考点。这一点通常是这样选择的，它尽可能处在使地面上一切相对的各点成对称的位置，同时它本身不参加地球的周日转动。很明显，这个点就是地球的中心，而太阳、月亮、行星及太阳系内其他天体的一切观测都归算到这一点。②

当选用地球中心为标准参考点时，从地心与某个实际观测地点看到的天体位置的差别，即天体在天球上的两个几何投影之间的角距离称为地心视差。由于太阳系内的天体视差位移现象与地球绕轴周日转动有关，因此也称地心视差为周日视差（diurnal parallax）。显然，周日视差就是由地心观测变为地面观测所作的修正，其大小即为由太阳系内某一天体看地球半径所张的角。

如图1-1所示，假设观测者位于地球表面上 M 点，O 为地心，OZ 为铅垂线，B 为太阳系内任一天体。连接 OB 、MB ，在三角形 OMB 中，OM 表示地球半径，记为 r ，OB 是从地球中心到天体的距离，记为 R ，天体 B 对地球半径的张角 $\angle OBM$ ，记为 p ，p 即为周日视差。

---

① 中国大百科全书·天文卷．北京：中国大百科全书出版社．1980. 326.

② 文采尔 M K. 球面天文学．朱裕栋，张先觉译．北京：高等教育出版社．1958. 207.

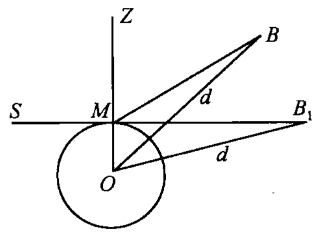

图 1-1 周日视差

视差 p 的大小，可以根据天体 B 到地心的距离 R 以及它的视天顶距 z' 求出。考察三角形 OMB，由已知 $OM = r$，$OB = R$，$\angle OMB = 180° - z'$，利用正弦公式有

$$\frac{\sin p}{\sin(180° - z')} = \frac{r}{R} \tag{1-1}$$

由此可得视差和天体距离之间的相互关系如下

$$\sin p = \frac{r}{R} \times \sin z' \tag{1-2}$$

由式（1-2）可以看出，视差是由天体的视天顶距 z' 决定的。由于在一天之内，天体的视天顶距不断变化，故视差也具有周日变化的特性，这也正是地心视差通常被称为“周日视差”的原因。

考察式（1-2），当天体位于观测者的天顶，亦即当 $z' = 0°$ 时，视差 $p = 0°$；而当天体位于地平，亦即 $z' = 90°$ 时，视差达到最大，这个视差的最大值叫做地平视差（horizontal parallax），本书中我们用 p_0 表示地平视差。将 $z' = 90°$ 代入式(1-2)，容易得出

$$\sin p_0 = \frac{r}{R} \tag{1-3}$$

作真地平线通过 M（$MS \perp OZ$），则在直角三角形 OMB_1 中，式（1-3）显然成立。至此可以看出，地平视差 p_0 其实就是

一个从位于地平处的天体上来看观测地点的地球半径所得的角距。联合式（1-2）和式（1-3），可以求出天体位于任意天顶距时的视差

$$\sin p = \sin p_0 \times \sin z' \tag{1-4}$$

式（1-4）表明了周日视差和地平视差的相互联系。观测资料表明，所有天体的地平视差都很小，因此它们的周日视差也相应很小，故在式（1-4）中，我们可以用弧度值来代替视差的正弦数值，于是可得

$$p = p_0 \times \sin z' \tag{1-5}$$

若用 z 表示天体 B 的地心天顶距，则有

$$z' = z + p \tag{1-6}$$

式（1-6）表明，视差总是把天体在地平上的位置降低，也就是说，我们从地球表面观测到的天体位置总比从地心观测到的位置要低。

由于天体的地平视差很小，故式（1-3）可以变为

$$\frac{p_0''}{206265} = \frac{r}{R} \tag{1-7}$$

解式（1-7）中的 R，得

$$R = \frac{206265}{p_0''} \times r \tag{1-8}$$

在计算地球到天体的距离时，先通过观测来测定它的视差，再由计算而求得距离，式（1-8）就表明了视差和天体距离之间的关系。在式（1-8）中，通常将地球半径 r 以地球的赤道半径代表，即取 r = 6378.39 千米；相应于地球赤道半径的地平视差，叫做赤道地平视差。

利用式（1-8），可以计算出从太阳到地球的距离和从地球到月球的距离。如令地球赤道半径 r=6378 千米，将太阳的地平视差取为 $p_0 = 8''.8$，则可得太阳到地球的距离为149 450 000千米；如将太阳的地平视差换为月球的地平视差 $p_0 = 57'$，可得月

球到地球的距离为384 000千米。

二、周年视差

在考察太阳系外一些天体的观测时，我们通常把由地心观测变为日心观测所作的修正称为日心视差或周年视差（annual parallax），周年视差的大小就是由恒星来看地球公转轨道半径所张的角。简单地说，恒星的周年视差就是地球和太阳间的距离在恒星处的张角。由于日食计算仅和周日视差有关，因此在本书中，若无特别说明，我们所称的视差均指周日视差。

周年视差的概念可借助图1-2说明。在图1-2中，S和E分别表示太阳和地球，P表示恒星。$r = PS$表示恒星和太阳的距离。$a = ES$表示地球绕日轨道的半长轴。$\pi = \angle EPS$即为恒星P的周年视差。

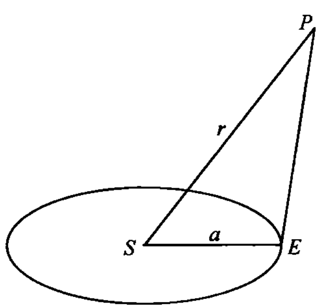

图1-2 周年视差

由于恒星到太阳的距离远远大于地球到太阳的距离，故$\angle PES$非常接近于直角。因此，在三角形PES中，恒星的周年视差π与太阳到恒星的距离r以及地球到太阳的平均距离a之间的关系可以表示为

$$\sin\pi = \frac{a}{r} \tag{1-9}$$

恒星的周年视差 π 都小于 1 角秒，即 1° 的 1/3600。所以通常 π 以角秒为单位，并把上式写为

$$\pi = 206265 \times \frac{a}{r} \tag{1-10}$$

显然，若 a 和 π 已知，便可求出 r。

通常，天文学家把日地距离 a 称做一个天文单位。实际上，天文单位是一个很小的距离，于是天文学家又引进了秒差距的概念。也就是说，如果恒星的周年视差是 1 角秒，那么它就距离我们 1 秒差距，1 秒差距大约为 206 265 天文单位。

只要测量出恒星的周年视差，它们的距离就很容易确定。但是，恒星周年视差的测量并不容易。哥白尼（Copernicus，1473～1543）提出日心说以后的近 300 年间，包括丹麦著名天文学家第谷（Tycho，1546～1601）在内的许多天文学家，都企图发现恒星的周年视差，但由于受当时观测条件的限制，他们的努力都没有成功，以致有些人对哥白尼学说的正确性曾一度表示怀疑。1837～1839 年，俄国的斯特鲁维（Struve，1793～1864）、德国的贝塞尔（Bessel，1784～1846）和英国的亨德森（Henderson，1798～1844）才分别测出了织女星（即天琴座 α）、天鹅座 61 和南门二（即半人马座 α）三颗近距恒星的周年视差。

早期用目视法测定恒星的周年视差，精度不高。20 世纪以来，天文学家开始使用大口径、长焦距的大型折射或反射望远镜和照相方法测定视差。当恒星同地球的距离等于 100 秒差距时，其周年视差的观测误差已相当于其视差本身相等的数值，因此只有对距离小于 100 秒差距的近距星，才能利用三角视差法比较准确地测定它们的恒星视差，而对于更远的天体，三角视差法则显得无能为力了。美国耶鲁大学天文台在 1952 年出版的《恒星视差总表》中列出了约 6000 颗恒星的三角视差，近几十年又测定了 10% 以上暗星的三角视差，例如在 1969 年版《格

利泽星表》中，列出了1049颗距离在20秒差距之内的近距星的视差。[①]

三、地平视差的测定

通过前面的讨论可知，天体的视差与地平视差及天体的视天顶距有关。天体的视天顶距比较容易测定，但地平视差的测定则比较困难。下面简单介绍一下测定月球地平视差和太阳地平视差的方法。

1. 月球地平视差的测定

测定月球周日地平视差的最简单方法是：在同一子午线上相距很远的两个地点同时观测月球，测定它在中天时的天顶距，如果已知两地的地理纬度，则可求出月球的地平视差。

如图1-3所示，假定有两个位于同一地球子午圈上的观测者，其中一个位于北半球的M点，另外一个位于南半球的N点，直线OZ_1和OZ_2分别是M和N点的铅垂线，QQ'是赤道，PP'是地球的自转轴，B为月球。

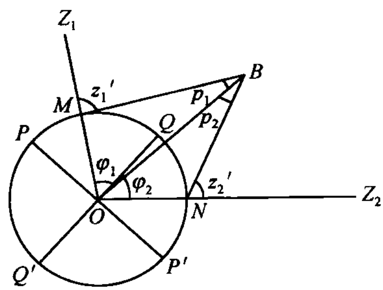

图1-3 月球地平视差的测定

考察四边形$OMBN$，由于四个内角的和为360°，即有

① 中国大百科全书·天文卷．北京：中国大百科全书出版社．1980. 327.

$$\angle O + \angle M + \angle N + \angle B = 360° \quad (1\text{-}11)$$

又从图 1-3 中看出，以下关系式显然成立

$$\angle O = \varphi_1 + \varphi_2, \angle B = p_1 + p_2$$

$$\angle M = 180° - z_1', \angle N = 180° - z_2'$$

将此四值代入式（1-11）并化简即得

$$p_1 + p_2 = z_1' + z_2' - (\varphi_1 + \varphi_2) \quad (1\text{-}12)$$

根据前面所给出的视差公式，有 $p_1 = p_0 \times \sin z_1', p_2 = p_0 \times \sin z_2'$，代入式（1-12）即得

$$p_0 = \frac{z_1' + z_2' - (\varphi_1 + \varphi_2)}{\sin z_1' + \sin z_2'} \quad (1\text{-}13)$$

利用式（1-13）即可计算出月球的地平视差。前面的叙述已经表明：为了测天体的视差，就要使位于同一地球子午圈上的两个观测者的距离尽可能远些，并且要同时在天体经过子午圈时去测定它的天顶距。我们已经在前面叙述了这个方法的基本概念。但实际上这个问题相当复杂，这是因为两个观测者不一定能位于同一个子午圈上，他们也不一定能在同一时间进行观测。另外，地球并非我们假想的圆球，而是一个不太规则的椭球体。

月球的周日地平视差最早是由法国天文学家拉卡伊（Lacaille，1713～1762）和拉朗德（Larand，1732～1807）测定的。1752 年，拉朗德在柏林天文台，拉卡伊在好望角天文台，同时测定月球在两地中天时的天顶距。这两地差不多在同一经圈上，而纬度则相差 90 多度。他们求得的月球的周日地平视差为 57′，该值和现代测得的数值相当接近。①

行星的周日地平视差也可在它们最接近地球时用上述方法测定。1672 年，法国天文学家卡西尼（Cassini，1625～1712）在火星冲日期间测定了它的视差。当时他与皮卡（Picard，1620～

---

① 宣焕灿．天文学史．北京：高等教育出版社．1992. 174～175.