

古代交食观测记录对地球自转速率长期变化的研究进展

吴守贤 刘次沅

(中国科学院陕西天文台)

提 要

本文对利用古代交食记录研究地球自转长期变化这一课题的原理、历史、结果和存在的问题作简单的介绍。对不同作者得到的不同形式的结果作了统一处理,得到三千年来地球自转长期加速度平均值为

$$\dot{\omega} = -64.9 \text{秒/世纪}^2.$$

一、引 言

用观测实践验证早在两个世纪前就预言过的地球自转速率变化是本世纪三十年代天体测量学的重大发现之一,半个世纪以来的研究愈来愈深刻地显示出这一发现的重要价值。它促使人们放弃了有史以来的计时基准(平太阳时),而代之以精确度高几个数量级的原子时。对于计时学而言,这个转变具有划时代的意义。同时,它对于地球内部结构的研究提供了一种新的信息,而在此以前对于地球内部结构研究的唯一信息来源是地震波。这样,对地球自转各种细微特征的分析研究自然就成为天文学、地球物理学十分感兴趣的课题。

地球自转速率变化包括十分丰富的各种成份。有短周期(数天至数十天周期)变化,季节性(周年和半年周期)变化、不规则起伏、长周期(数年至数百年周期)变化以及长期的单向变化。它们有的取决于地球内部结构特征(如液核、弹性、形状等),也有的因外界条件影响而引起(如大气角动量交换,日月潮汐摩擦等)。迄今为止,这些作用的机制远未完全清楚。但是不管怎样,任何理论模型都必须建立在对地球自转参数(ERP)实时的、可靠的监测数据的基础上。近十年来新技术的兴起(量子电子学技术、甚长基线射电干涉技术、激光技术)使得对ERP的精确测定展现令人十分乐观的前景。继国际地球自转联测(MERIT)以后,1985年11月在新德里IAU第十九届大会上决定成立国际地球自转服务的全球性合作机构将使监测更有成效。但是,对于长期变化而言,依靠几十年以内的观测资料是很难得出结论的,因为较长周期的变化与不规则变化叠加在一起而无法分离。况且用几十年的资料进行外推,对于处在不断变化状态下的地球,也并不适宜。只有借助于几百年以上的实测资料才能得出实时而可

靠的结论。当然，人们又不能等待数百年数千年，所以应该从现在已经获得的资料中，最大限度地提取有效的信息，得出尽可能正确的结论。

地球在它已存在45亿年的漫长年代里，自身保存着许多沧海桑田的记录遗迹，等待人们去发掘。虽然目前成功的例子还不多，但十分重要。古树的年轮，古代化石的遗痕，对于古代地球自转速率问题多少给出了一些知识，古地磁学的研究导出了地球自转轴长期位移，这些都是有名的例证。人类从有文字记载以来迄今已有数千年的历史，特别是近三千年来，各个文明古国都有了确切的天文记录，这就使得对近3—5千年来的资料作细致研究成为可能。对这些很好的实时观测，只要我们提取出有效的信息，便可以描述几千年来地球自转的实际历程。这就是为什么近二十年来，那些用古代天文资料研究地球自转的工作在沉寂了半个世纪以后又重新活跃起来的根本原因。为此目的，目前普遍使用的是古代交食观测记录，而且已经有不同的作者导出了不少有趣的结论。为了讨论和分析这些研究结果，本文将系统地讨论问题的实质，并将不同作者的结果归一化后进行比较，指出问题的困难所在，探讨今后这一工作的前景。

二、地球自转长期变化与日月行星的长期加速

过去人们一直以地球自转周期运动作为计量时间的标准。由于地球自转的不均匀性，以此作为时间基准的世界时UT相对于某个均匀时 t 有一个差值 Δt 。假定地球自转加速度 $\dot{\omega}$ 为恒量，其关系可以写为

$$\Delta t = \text{UT}(t) - t = \iint \dot{\omega} dt dt = \frac{1}{2} \dot{\omega} t^2 + C_0 + C_1 t \quad (1)$$

适当选用均匀时的起点和长度单位即可使上式右边的系数 C_0 和 C_1 为零。Newcomb由17至19世纪基于世界时的观测得到太阳平黄经表达式。以此定义的均匀时——历书时与世界时有如下关系

$$\Delta t = \text{UT} - \text{ET} = \frac{1}{2} \dot{\omega} t^2 \quad (2)$$

这是一个普遍适用的公式，对于我们现代取恒星为背景的天球参考系来进行天文测时，以原子时作为参考，可以达到毫秒的精度。但在原子时建立以前，只能以日月等快速视运动的天体作为参考，即历书时。现代研究表明，地球自转远不是一个均匀的减速运动，而是具有极其复杂的周期和非周期过程。同时这些运动的幅度相当大，因而难以由现代世界时观测来测定地球自转长期趋势。实时的古代观测提供了唯一的途径。令某天体平均视角速度为 n_0 ，因地球自转加速度导致的该天体视加速为 \dot{n}_0 ，不难证明：

$$\frac{\dot{n}_0}{n_0} = - \frac{\dot{\omega}}{\omega} \quad (3)$$

最适合的天体就是日、月和行星，特别是月亮的 n_0 较大，它的视角加速就容易被觉察；太阳次之，行星更次之。事实上1939年Spencer Jones^[1]就是利用(3)式，采用近250年观测资料证实了地球自转的中长期变化。表1给出了地球自转加速度 $\dot{\omega}$ 、日长变率 \dot{d} 、加速比

$\dot{\omega}$ ($\frac{\dot{\omega}}{\omega}$) 以及由于地球自转加速而引起的月亮、太阳视加速 \dot{n}'_m 、 \dot{n}'_s 之间的对应换算值, 以便于对比不同作者以不同形式给出的结果。

表1地球自转加速度及有关量的换算表

\dot{d}	$\frac{\dot{d}}{d} = \frac{\dot{\omega}_e}{\omega_e}$	$\dot{\omega}$		$\dot{n}'_m=2m$	$\dot{n}'_s=2s$	\dot{n}''_m
毫秒/日/世纪	10 ⁹ /世纪	"/世纪 ²	秒/世纪 ²	"/世纪 ²	"/世纪 ²	"/世纪
1.0	1.16	551	36.5	20.1	1.50	12.5
1.2	1.39	660	43.8	24.1	1.80	15.0
1.4	1.62	769	51.1	28.1	2.10	17.5
1.6	1.85	878	58.4	32.0	2.40	19.9
1.8	2.08	987	65.7	36.0	2.70	22.4
2.0	2.31	1096	73.0	40.0	2.99	24.9
2.2	2.55	1210	80.3	44.2	3.30	27.5
2.4	2.78	1320	87.6	48.2	3.60	30.0

我们知道, 太阳、月亮和地球三者并非单纯的几何联系, 而是一个力学系统。根据动量矩守恒定律, 地球自转减速会导致日月的实际加速, 我们表之为 \dot{n}'_s 和 \dot{n}'_m , 它们可由下式得到

$$-\frac{1}{3} \frac{M_m M_e}{M_m + M_e} r_m^2 \dot{n}''_m + 0.334 M_e R^2 \dot{\omega}_m = 0 \quad (4)$$

$$-\frac{1}{3} \frac{M_s M_e}{M_s + M_e} r_s^2 \dot{n}''_s + 0.334 M_e R^2 \dot{\omega}_s = 0 \quad (5)$$

其中, M_m , M_e , M_s 分别为月亮、地球和太阳质量, $\dot{\omega}_m$ 和 $\dot{\omega}_s$ 分别为地球自转加速中由月亮和太阳引起的部分, R 为地球赤道半径, r_m 为地月平均距离, r_s 为日地平均距离。代入适当的常数可以算出相应于不同的 $\dot{\omega}$ 有不同的 \dot{n}''_m (列于表 1 最后一行)。计算表明 \dot{n}''_m 小于 10^{-6} , 可以忽略。

除此而外, 月亮在绕地公转的运动中还存在着另一种与地球自转无关的动力学加速, 可以记为 \dot{n}''_m 。这是 Adams (1853) 在改进了 Laplace 理论后得出的, 后经 Brown 进一步肯定为 $6''.03T^2$, 称之为月亮的行星加速项。其后 1906 年 Newcomb 还导出由于总岁差的长期变化引起的加速项为 $1''.11T^2$ 。行星加速与岁差加速总称为月亮的动力学加速。对于 1900.0 历元为 $+7''.14T^2$ 。由于动力学加速在 Brown 月亮表中已经计及, 当引用月亮表计算月亮位置时, 则在研究中不再考虑。

现在的问题是, 因为 $\dot{\omega}$ 的存在, 它反映出日、月的视加速 \dot{n}'_m 、 \dot{n}'_s ; $\dot{\omega}$ 又与日、月的潮汐加速 \dot{n}''_m 、 \dot{n}''_s 共存, 我们观测到的月亮加速实际上是两者的综合。这个综合值要分解为视加速和潮汐加速, 它必须受到 (3)、(4) 和 (5) 式的制约。解决此问题只有两种可能的途径: 一个是选用与日、月无关的观测对象进行高精度、长期测定, 例如近代兴起的原子钟-甚长基线干涉系统。但这是今后的任务, 过去的实时结果已不可能用这种方法得到。另一个途径是使用

古代交食观测,但是要更准确地在理论上消除日、月的其他加速项,而且要尽量压缩各种可能的误差。是否存在其他加速项,这属于理论探讨的课题,而古代交食观测的误差很大则恰恰是这些资料的弱点。因此,要彻底解决这个问题,目前尚不能过于乐观,但是要把问题解决得尽量深刻些,则是完全可能的。在还没有更好地随时分离出月亮加速值以前,现在只能采用的办法就是取近代用新技术得到的较好的月亮潮汐加速值,并假定它在几千年以来没有变化。目前普遍采用 $\dot{n}'' = -26''/\text{世纪}^2$,以此常数代入而求出地球自转长期变化。表2列出了用近三百年以来的资料所求得的月亮潮汐加速值(为方便起见,下文中以 \dot{n} 表示这一量)。

表2 由三百年来的望远镜观测资料得到的月亮潮汐加速值 \dot{n}

作者(年代)	资料来源及备注	$\dot{n}''/\text{世纪}^2$
Jones (1939)	1680年以来的月掩星、太阳赤纬赤经、水星凌日及少量的金星资料,最终结果由Clemence (1948)得到	-22.4 ± 1.1
Clemence (1943)		-17.9 ± 4.3
Van Flandern (1970)	1955—1969年基于原子时的月掩星	-52
Oosterwinter等(1972)	1913年以来的月亮和行星4万个位置观测,月亮和行星各轨道要素同时解出	-38 ± 8
Morrison (1973)	1663—1972年4万个月掩星	-42 ± 6
Van Flandern (1975)	1955—1974年基于原子时的月掩星	-65 ± 18
Morrison等(1975)	1677—1973年2400个水星凌日求得的 ΔT 应用于月亮资料	-26 ± 2
Ferrari等(1980)	激光测月和多普勒人卫跟踪	-23.8 ± 2.6
Lambeck (1980)	数值潮汐模型	-29.6 ± 3.1
Cazenave (1982)	人造卫星	-26.1 ± 1.6
Van Flandern (1982)	月掩星	-21.4 ± 2.6
Dickey 等 (1982)	激光测月	-25.1 ± 1.2

三、早期的研究

1939年由Spencer Jones^[1]完全证实地球自转速率是长期变化的。在此以前,它仅仅是一种预测,而所有研究者的注意力都集中在可以观测到的,与其联系十分密切的月亮长期加速现象上。1695年Halley在比较了古代日食观测和当时的观测后,最早指出月亮长期加速的可能性;1749年Dunthorne首次得出了加速值;1754年Kant就是在此实践基础上预言潮汐摩擦将导致地球自转长期减速;Euler和Largrange则试图用牛顿力学去解释月亮加速现象但未获成功;1787年Laplace用行星摄动引起地球轨道偏心率减小,从而导致月亮加速的理论进行解释,得出了与实测值 $10''T^2$ 十分相符的结论,从而成为当时的重大理论成果。但是,1853年Adams指出Laplace忽视的一些小项不合理,重新导出 $5''.70T^2 + 0''.0068T^3$ 的理论项,反而与实测值又发生了分歧。于是似乎已解决了的问题,实际上并未解决。1905年Cowell发现了太阳的加速现象,接着又发现了内行星的加速现象,这显然是有助于证明Kant的预言。

最先利用古代交食观测记录进行系统研究的是Fotheringham, 他于1906至1926年间收集了大量古代的分点测定、日月食、月掩星观测记录来确定太阳和月亮的加速平均值。1927年De Sitter^[2]总结了Fotheringham的工作后得出太阳长期加速为 $(1''.80 \pm 0''.16)T^2$, 月亮加速为 $(5''.22 \pm 0''.30)T^2$ 。这一结果被引用了相当长时期。Spencer Jones在他的证实地球自转长期变化的著名论文中就使用了De Sitter的结果, 这一对数值相应于 $\dot{\omega} = -88$ 秒/世纪², $\dot{n} = -37''.7$ /世纪²。

Fotheringham的工作是很出色的, 因为他采用了一个十分巧妙的方法得以充分使用古代粗糙的日全食观测记录, Fotheringham 1909年^[3]处理Hipparchus日食就是典型的例子。他首先采用Newcomb给出的一对日、月加速值(太阳为0, 月亮为 $8''.012T^2$)计算出此次日全食带A恰好通过观测地点, 然后把月亮加速增加 $1''$ 就得到另一条全食带B, 它距A带68英里。又让太阳加速增加 $1''$ 而月亮加速不变可得C带, 距A带123英里。由此可知, 欲使日全食带通过观测地点, 太阳加速 s 和月亮加速 m 应有下述线性关系

$$m = \frac{123}{68}s + 8''.012 \quad (6)$$

此直线绘于图1。如果考虑到全食带的宽度则有与之平行的两条虚线。每次日全食记录可以得到各自的一对直线, 其间便是解的可能范围。如果假定 m 和 s 是常数, 则不同年代的每次日食所得到双线的共容区域便是 m 与 s 的解, 这个共容区域的中心便认为是解的最佳值。当然, 由于古代记录的错误、误差以及 m 与 s 的可能的变化, 会有相互矛盾的双线而得不到共容区域。用这个方法Fotheringham于1920年^[4]采用11个古代“最可靠”的日全食记录得到他全部研究的核心部分(见图2)。很遗憾, Fotheringham的这一著名研究因为所用的日食记录实际上并不可靠而几乎被全部否定, 但是他采用的方法确有意义。它指出, 就是三千多年前的粗略观测, 只要是事实也可以导出比较精确的结论, 为现代科学作出贡献。

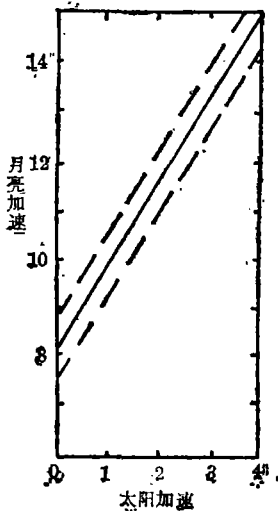


图1. Fotheringham的Hipparchus日食图。

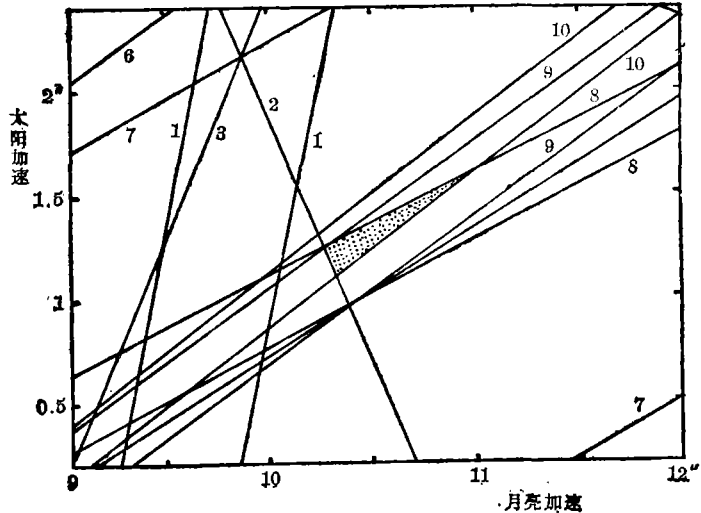


图2. Fotheringham的10个日全食图。

四、近代的研究

Fotheringham 以后的半个世纪内几乎没有任何进展。人们认为古代记录已充分利用，他的结果不断被引用，所以也没有人试图再对他的结果进行改善。

1966年Dicke^[5]讨论了地球自转长期加速与宇宙论效应的可能关系，提出引力常数 G 的变化可以由地月系加速效应来验证。可惜他只引用了Fotheringham所用的几个古代日全食资料，很难得出有价值的结论。

1966年Currott^[6]在采用新天文学常数和历表后对33个古代日食观测进行了研究，其中包括18个中国古代记录，这是首次把中国的丰富记录引进这种研究工作中来。他采用的方法是：如果地球自转没有加速，月亮历表采用动力学加速 $7''.14T^2$ ，潮汐加速 $-11.22T^2$ 。由此计算得某次日全食应在经度为 λ_c 的地点，而日全食记录的观测地点是 λ_0 ，于是有

$$\frac{\dot{\omega}}{\omega} = \frac{\lambda_0 - d - \lambda_c}{-6.555 \times 10^6 t^2} \quad (7)$$

其中 λ_0 、 λ_c 、 d 均以角度为单位， d 是从格林尼治起的历书子午圈在基本时间历元内的平移， $\frac{\dot{\omega}}{\omega}$ 以 1/世纪为单位， t 为 1900.0 起算的世纪数。Currott 的结果弥散度很大，其平均值为 -17×10^{-9} /世纪。

Newton (1969, 1970, 1972)^[7-9]作了大量的系统工作，他指出古代天象记录可靠性是一个关键问题，特别指出了Fotheringham在应用日全食记录中犯了“论证游戏”的错误，这就是先根据日、月历表来订正记录，再利用记录改进历表这一逻辑上的错误。他指出 Fotheringham所用的十一个古代日全食记录无一可靠。Newton首先从考证记录开始，然后把这一研究大大地推进了一步。Newton把每个观测写成如下形式：

$$A_i(\dot{n} + 22.44) + B_i \left(10^9 \frac{\dot{\omega}}{\omega} \right) = Z_i \pm \sigma_{z_i} \quad (8)$$

令 $x = \dot{n} + 22.44$ ，它是对S. Jones (1939)测定的改正值。令 $y = 10^9 \frac{\dot{\omega}}{\omega}$ ， Z_i 是观测值， σ_{z_i} 是与 Z_i 相应的误差，于是有

$$A_i x + B_i y = Z_i \pm \sigma_{z_i} \quad (9)$$

不难证明

$$\frac{A_i}{B_i} x + y = \frac{Z_i}{B_i} \pm \frac{\sigma_{z_i}}{B_i} \quad (10)$$

Z_i/B_i 是观测量，由预期见食地点经度与实际记录见食地点的经度差决定，记为 $y_0 = -152\Delta\lambda/t^2$ ， σ_{z_i}/B_i 取决于全食带宽度和观测地点的可能范围估计， A_i/B_i 则采用类似于 Fotheringham 的方法来决定，即先取一个小的增量 Δx ，再求相应的 Δy 即可得到 $-\frac{A_i}{B_i} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ 。

每一个观测记录可以得到(10)式这样的条件方程式, 联合求解即可得到 x, y 。Newton (1970)^[8]由500 A.D.以前的大食分日食得到

$$\dot{n} = (-41''.8 \pm 5''.3) / \text{世纪}^2; -\frac{\dot{\omega}}{\omega} \times 10^9 = -27.7 \pm 3.4 / \text{世纪}$$

Newton (1972)^[9]又整理了中世纪(5—13世纪)欧洲的大量天象记录, 他用379个独立的日食记录得到对于平均历元976年有:

$$\dot{n} = (-78''.9 \pm 15.9) / \text{世纪}^2; -\frac{\dot{\omega}}{\omega} \times 10^9 = (-42.8 \pm 10.1) / \text{世纪}$$

这一结果与他自己1970年的结果相差很远, 而且与其他人的结果不符。Newton认为这正是中世纪潮汐摩擦有变化的证明。Muller^[10]则认为这是Newton大量使用日偏食记录所造成的, 并不认为这是潮汐摩擦变化的反映。

Muller与Stephenson (1975)^[10]提出使用日全食资料必需遵守三个条件: 1. 记录日期清楚; 2. 记录地点明确; 3. 有食分的明确记录。他们提出应该少而精地使用符合上述条件的资料。为此, 他们采用了“最小删去过滤”方法来筛选古代观测记录, 基本思想是假定正确的方程应该有重复性而错误的方程则是孤独的。Muller和Stephenson还强调应该修订(2)式, 代之以

$$\Delta t = A + Bt + \frac{1}{2} \frac{\dot{\omega}}{\omega} t^2 \quad (11)$$

也就是说修正了标准历元(1900.0)的变率。当然, 在 t 很大时这个修正较小。

Muller与Stephenson (1975)^[10]用Fotheringham作图法和(11)式反复迭代得到

$$\dot{n} = (-37''.5 \pm 5) / \text{世纪}^2; -\frac{\dot{\omega}}{\omega} \times 10^9 = (-29.0 \pm 3) / \text{世纪}$$

我国天文工作者从七十年代起注意到外国人使用中国古代记录的不可靠性, 开始了这一研究。本文作者^[11]曾分析了所有被欧美天文学家用过的33个中国古代日食记录, 发现有1/3使用中错误。有的作者试图寻找新的日食记录, 但是在对某些日食论证中似乎也重复了Fotheringham发生过的缺点。值得指出的是李致森等人^[12]考证计时精度后利用间接推得的时间记录来推求 $\dot{\omega}$ 有独到之处。本文作者之一刘次沅^[13]在他的学位论文中使用南北朝以前的月掩星记录也是十分有意义的。在这项工作中作者提出“实际可见时间段”的概念, 使得那些只有日期而无时刻记录的月掩星观测有可能推证出时间记录进而大大提高了结果的精度。应该指出, 这样大量的月掩星资料, 在世界各民族历史中都是少见的, 而且使用这样多的月掩星资料也是第一次。刘次沅^[13]得到 $\dot{\omega} = -65.0$ 秒/世纪², 它与所有近代结果的平均值相一致(原文得到-49.7, 在做下述两项改正后得到这一值, 以便与其他结果比较)。

表3给出各个研究者应用古代记录求得的结果。各人的结果所给出的形式和采用的数据不同, 为便于相互比较, 把它们化为统一形式 $\dot{\omega}^*$, 在表中最后一列给出, 并作如下说明:

1. 各研究者对月亮潮汐加速 \dot{n} 的处理不同。有的采用-26, 有的采用-22.44(采用值在表中加括号表示); 有的作为未知量与 $\dot{\omega}$ 联立求解。表中一律化为采用 $\dot{n} = -26$ 。

2. 由古代观测直接得到的是 Δt , 平均加速度 $\dot{\omega}$ 是由(2)式求得, 式中 t 的起始历元过去一般采用1900.0, 但它实际上应是历书秒和世界时秒长相等的历元, 据Stephenson^[15]的研究

应取在1800年为宜，作者据Jones的太阳平黄经改正得到的结果也是如此。在表中最后一列，所有结果都作了此项改正。由于部分原文中详情不很清楚，故这一项改正对于某几个结果在最后一位数字不十分准确。

表 3 由古代天象记录得到的地球自转长期加速平均值

	作者(年代)[文献号]	资料简况	$\dot{n}''/\text{世纪}^2$	$\frac{\dot{\omega}}{\omega} \times 10^9/\text{世纪}$	$\dot{\omega}^*/\text{世纪}^2$	
1	Fotheringham (1920) [4]	-1064 至364年的11个地中海地区的日全食，得到日月加速 $m=4.7, s=1.5$	-30.8	-23.0	-69.5	
2	de Sitter (1927) [2]	根据Fotheringham 对欧洲西亚古代分点、日全食、月食食分和计时、月掩星记录的研究综合得到 $m=5.22, s=1.80$	-37.7	-27.7	-70.0	
3	Currott (1966) [6]	32个日全食，包括Fotheringham 的11个和中国的17个。	(-22.4)	-17	-66.8	
4	Newton (1970) [8]	日全食、日月食计时、食分、分点、日月位置表、月掩星	历元-200	-41.6	-27.7	-64.2
5			历元1000	-42.3	-22.5	-49.5
6	Newton (1972) [9]	中世纪日食 历元976	-78.9	-42.8	-39.5	
7	Muller等(1975) [10]	由大量记录精选的日全食	-37.5	-29	-69.0	
8	李致森等(1979) [14]	17个中国日食(-708-194)	(-22.4)	-17	-66.8	
9	Stephenson等(1982) [15]	13个巴比伦月食计时(-684--65)	(-26)	-20.6	-64.8	
10	韩延本等(1984) [16]	88个中国日食(-709-688)	(-22.4)	-18.8	-74.0	
11	李致森等(1984)[12]	159个中国日月食计时(-144-1636)	(-22.4)	-23.0	-79.8	
12	Stephenson等 (1984)[17]	巴比伦月食计时，平均历元-390	(-26)	-20.5	-65.0	
13		阿拉伯日月食计时，平均历元948	(-26)	-16.1	-51.0	
14	刘次沅(将发表于天体物理学报)	中国月掩星(-68-575), 58个月掩行星, 113个月掩恒星	(-26)	-21.1	-66.8	

由表中列出的结果，可以得到一个地球自转长期加速的最佳平均值。考虑到资料的独立性等原因，取4、5、7、10、11、12、13、14这8个结果的简单平均值得到

$$\dot{\omega} = -64.9 \text{ 秒/世纪}^2$$

它相当于地球自转变率 $\frac{\dot{\omega}}{\omega} \times 10^9 = -20.5/\text{世纪}$ ，日长变率 $d=1.78 \text{ 毫秒/日/世纪}$ 。

还应该注意Lambeck (1980)^[18] 引用由古生物化石得到的几亿年来的地月系加速平均值为

$$\frac{\dot{\omega}}{\omega} \times 10^9 = -27.3 \pm 3.0 \quad \dot{n} = -30.8 \pm 8.2 \text{ (由珊瑚化石)}$$

$$\frac{\dot{\omega}}{\omega} \times 10^9 = -25.5 \pm 2.6 \quad \dot{n} = -26.7 \pm 6.2 \text{ (由牡蛎化石)}$$

这与三千年来的古天文记录得到的结果相差不大，似乎说明地月系加速在几亿年里无大改

变。这对于讨论作用机制是很有意义的。

Stephenson和Morrison^[17]最近研究得出地球在公元头10个世纪自转确有某种变化, 但他们认为这种变化存在于地球非潮汐项中, 而不是如Newton所说的归因于潮汐摩擦。

图3给出了由部分古代资料得到的地球自转参数的图象。横坐标是历元(年), 纵坐标是 ΔT (千秒), 这是采用 $n=26$ 得到的结果。资料来源于 Stephenson^[17] 和刘次沅对中国古代月掩星的处理(将发表于天体物理学报)。

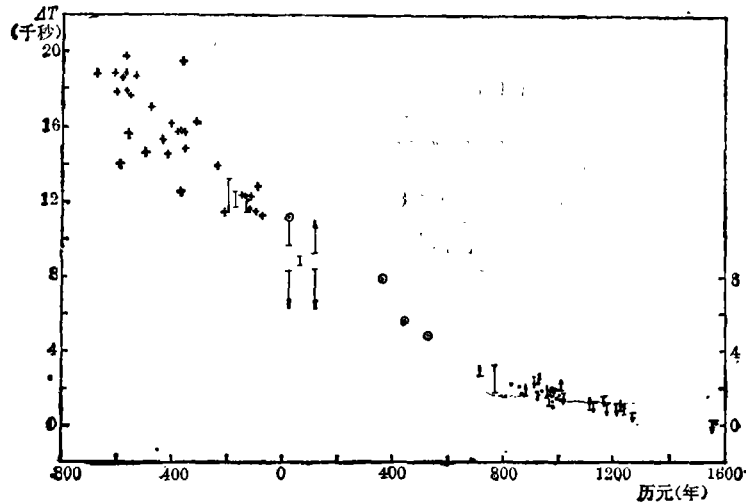


图3. 部分古代天文观测得到的地球自转参数。

+ 巴比伦月食计时; ● 阿拉伯日月食计时; ⊙ 中国月掩星(平均值);
∇ 日全食(短横线表示可靠边界, 箭头表示不可靠边界)。

五、古代天文记录资料

利用古代天文观测记录来解决现代科学问题, 其中对地球自转长期变化的研究是非常成功的例子。但由于古代天文学家们观测记录的目的是各种各样的, 有的仅仅是兴趣, 有的则出于宗教、哲学或政治的原因, 因此他们的记录不可能十分完善。例如, 中国的古代记录, 其连续性、可靠性在世界上是无与伦比的。但是, 尽管中国的古代计时技术已很发达, 而他们在记录日、月食和掩星时却极少记录发生的时刻, 这是十分令人遗憾的, 就是观测地点也未作明确记载, 这就使我们在使用这些信息时发生困难。

中国古代对于日月食观测十分重视, 几乎三千年连延不断。据不完全统计, 出自正式文献的, 从公元前776至1700年日食记录共有1300余次, 其中日全食有64次。月食记录也很多, 对于研究地球自转长期变化和日月加速, 资料是十分丰富的。就是只用中国的资料, 在这一段时期内也已经足够了。问题是对这些资料需要加工处理:

1. **资料需要筛选。**应该按照Muller与Stephenson提出的标准逐一加以研究进行筛选, 因为中国日食记录没有时刻这个缺陷几乎难以挽回。关于日食食分记载, 中国记录对全食和大

食分日食是有记载的,而对于偏食则少有记载。因此,目前对于偏食记录在有新的方法出现前尚不能有效地利用。由于记录出自官方史书,可以假定观测是在当时的京城,但也不能排除地方官吏申报的可能性,这样就需要仔细辨认。还应该注意各个时期的政治背景(如政治的动荡,官吏的失职和舞弊)而抛弃一些伪造记录。需要指出,外国科学家在使用中国资料时来自于翻译资料,仅注意主要记录(如“日有食之,既”)而没有注意到主记录还带有一些辅助记录(如指出在什么星座,或有更详细的方位)。因此,人们应考虑这些辅助记录的价值,而建立新的计算方法,以充分发挥中国古日食记录的优势。

2. 资料需要补充。补充的重点应该放在公元前776年以前的记录。在公元前776年以前中国还有一些日食记录,但是由于中国的历法在公元前776年以前与公历的对应尚未有定论,不宜贸然使用。而且在延伸中国历法与公历对应时,史学家目前常用的有效方法是根据日食记录,查算日月食典反推出对应关系,而在这一点上恰恰是本研究课题要绝对回避的,否则就重复了Fotheringham的错误。因此,很自然地历史学家提出一个问题,就是不用日月食典来延伸历法,哪怕是这样认证出1—2个日全食的确切年代(用公元纪年),也是非常重要的。吴守贤曾与Newton通信讨论过中国目前最古老的一次日全食记载(书经日食记载,可能发生在公元前廿世纪)。Newton认为也许是气象记录而不是日食,但是他并未全部排除日食的可能性,而提出一个论证方法。他建议在公元前776年到公元前2000年间最好先论证出几个日食,由近及远,然后逐步近似外推也许是可能的。如果在这一段时期内有几个确切的日全食记录,则把地球自转长期变化向前延伸1000年,当然是十分有价值的。甲骨文记录、地下文物出土都有可能随时给出这种记录,我们应十分关注考古学中的新进展。

作者特别要提请注意的是中国古代的月掩星记录,这在世界上是无与伦比的。在刘次沅的工作^[13]之前,在地球自转研究领域内,这些记录尚没有被人充分注意和有效利用过。其原因是外国的早期记录很少,中国的又普遍缺少时刻记录。刘次沅^[13]仅用了公元二世纪至六世纪的资料就从165个原始资料中筛选出83个有用的月掩星记录,特别是提出了“实际可见时间段”的概念,在一定程度上克服了没有时刻记录的缺点,从而得出较好的结果。预期对古代中国月掩星的全面整理将会对地球自转长期加速的研究作出较大的贡献。

世界上另外一些文明古国同样存在着不少有价值的记录。例如公元前7至1世纪古巴比伦的月食计时记录,记录在泥板上。自出土的泥板中已有40多个月食初亏的时刻记录和20多个带食而出的月食记录,计时精度从40分钟到4分钟。又如阿拉伯的日月食观测,在9—10世纪他们的记录有日期、地点和日月食接触时刻的地平高度。又如中世纪欧洲日食记录,还有古代地中海地区的天文观测,包括Hipparchos的太阳过分点时刻记录,少数几个月掩恒星和带有计时的日月食记录,这些记录同样是研究地球自转长期变化的宝贵资料。

六、结 论

应该认为 1. 利用古代天象记录,主要是交食记录来研究 3,000—5,000 年来地球自转的历史变化是有效的,目前尚无比它更好的方法和资料,取得的成果是令人鼓舞的; 2. 这些资料尚没有充分的正确应用,有待我们进一步研究; 3. 期望发掘出 3,000 年以前的资料,以延伸

研究成果。

参 考 文 献

- [1] Jones, H. Spencer, *MNRAS*, 99 (1939), 541.
- [2] de Sitter, W., *Bull. Astron. Inst. Netherlands*, 4(1927), 21.
- [3] Fotheringham, J. K., *MNRAS*, 69 (1909), 204.
- [4] Fotheringham, J. K., *MNARS*, 81 (1920), 104.
- [5] Dicke, R. H., in *The Earth-Moon System*, 98, ed. by B. G., Marsden, (1964).
- [6] Currott, D. R., *A. J.*, 71 (1966), 264.
- [7] Newton, R. R., *Science*, 166 (1969), 825.
- [8] Newton, R. R., *Ancient Astronomical Observation and the Accelerations of the Earth and Moon*, (1970).
- [9] Newton, R. R., *Medieval Chronicles and the Rotation of the Earth*, (1972).
- [10] Muller, P. M. and Stephenson, F. R., in *Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation*, 459, ed. by G. D. Rosenberg, (1975).
- [11] 吴守贤, 陕西天文台台刊, (1982), No.2, 23.
- [12] 李致森, 杨希虹, 中国科学A辑, (1985), No.2, 163.
- [13] 刘次沅, 天文学报, 27(1986), 69.
- [14] 李致森等, 北京天文台台刊, (1979), No.3, 41.
- [15] Stephenson, F. R. and Morrison, L. V., in *Tidal Friction and the Earth's Rotation II*, P. 29, ed. by P. Brosche, (1982).
- [16] 韩延本等, 天体物理学报, 4 (1984), 107.
- [17] Stephenson, F. R. and Morrison, L. V., *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A313 (1984), 47.

(责任编辑 林一梅)

The Progress on the Research of the Secular Variation of the Earth's Rotation by the Ancient Eclipses Records

Wu Shouxian Liu Ciyuan

(Shaanxi Astronomical Observatory, Academia Sinica)

Abstract

The principle, history, results and present problems of this subject are introduced briefly. The results in different form from various authors are unified in order to compare to each other. The mean value of the acceleration of the Earth's rotation is -64.9 s/cy^2 . The lunar tidal acceleration of $-26''/\text{cy}^2$ is adopted and the fundamental epoch is 1800.0.