

“天再旦”日食与世界时改正数 ΔT

张培瑜 韩延本^{④(四)}

(中国科学院紫金山天文台, 南京 210008; ④中国科学院北京天文台;

④中国科学院国家天文观测中心, 北京 100012)

摘要 讨论了《竹书纪年》中“懿王元年, 天再旦于郑”的记载, 认为这可能是关于发生在公元前 899 年的一次日环食现象的记录, 并由此讨论了地球自转速率的长期变化.

关键词 日食 地球自转 世界时

《竹书纪年》是 3 世纪在汲冢的战国魏墓中出土的一部中国古代编年体史书. 其中有一条“懿王元年天再旦于郑”的记载. 西周共和时代以前, 中国古史无确切纪年, 懿王是共和前的第四个王, 在位年代尚未被确切认定. 天象证认是确定历史年代的可靠依据, 因此这条记载引起了国内外研究西周年代学者的注意. “旦”意即天亮, “天再旦”是什么天象, 所述不明, 使人感到困惑. 1944 年中国学者刘朝阳先生提出, “天再旦”是日出前发生的一次日全食形成的现象的假说, 得到多数学者的认可. 可惜, 他和随后的董作宾先生分别提出的公元前 926 年 3 月 21 日和公元前 966 年 5 月 12 日的两次日食, 却均未能证实刘朝阳先生的论断. 1975 年韩国学者方善柱据刘朝阳说并参考 Oppolzer 的《日月食典》, 论证《竹书纪年》中的“天再旦”记录的是公元前 899 年 4 月 21 日的日环食^[1]. 此后, 有另外几位学者也对“天再旦”日食的年代做了论证和讨论. 1988 年美籍学者彭颀钧(Pang)等人不仅也认定所记是公元前 899 年的日环食, 并对此次日食在“郑”(今陕西省华县, $\lambda=109.8^\circ\text{E}$, $\varphi=34.5^\circ\text{N}$)引起天再旦现象必须满足的天文条件, 第一次做了详尽理论分析和计算, 并假设食甚发生在日出之时, 计算得出了表示地球自转变化的相应的 ΔT 为 $(5.8 \pm 0.15) \text{ h}$, 将天再旦的研究又向前推进了一步^[2, 3].

“天再旦”究竟是不是日食, 什么样的日食会引起天再旦, 在懿王所处的年代范围有没有这样的日食, 日环食时日体如金环, 日不能“既”, 这样的日食能否形成天再旦, 这些问题还有待解决. 若能实际观测日出前后的日食造成的天光变化, 对解决这些问题将是有帮助的.

1 “天再旦”现象的实际观测

1997 年 3 月 9 日的日全食, 在中国的新疆维吾尔自治区(简称新疆, 下同)正好发生在日出前后, 由刘次沅、周晓陆先生设计并指导的新疆日食观测对认识上述问题将是有益的. 据报道, 观测以塔城为中心, 共设 20 多个观测点, 全面观测食甚时太阳在地平线上下不同高度、食甚时各地的不同食分以及不同天气下的各种情况, 重点是日食过程中天光的亮度变化, 方法有目视的主观感受和照相机测光.

塔城位于新疆北部($\lambda=82^\circ 58' \text{E}$, $\varphi=46^\circ 45' \text{N}$). 这次日食在塔城是偏食, 初亏 7:45(北京时间, 下同), 食甚 8:39, 食分 0.97, 复圆 9:36, 日出 8:53, 民用晨光始为 8:22.5(太阳在地平线下 6°), 天文晨光始为 7:11.5(太阳在地平线下 18°).

新疆的日食观测证实了日出前的几尽日食(近中心日食), 不论目视的主观感受还是用仪器测光, 的确出现了天色变亮、转暗、再变亮的过程. 塔城最大食分为 0.97, 食甚在日出前 14 min. 由此可知: (1) 日出前后发生的日食的确能造成天再旦现象; (2) 不一定必须日全食, 环

食或几尽日食都可出现天再旦的感受;(3) 不同的食分大小及食甚距日出的时刻,产生的主观感受会有所差异,食分越大,距日出的时刻越近,天再旦的感受会更强烈一些.

另外,按照塔城日食观测的实际体验和仪器的光度测量,如果食甚在日出前一小时或更早,复圆阶段的生光不会造成天再旦的感觉.

现在观测实践和理论分析都证明日出前后发生的全、环或几尽日食确能引起天再旦现象,因此《竹书纪年》所书就很可能是一次日食的记录.若如此,那么“懿王元年,天再旦于郑”所记述的是哪一次日食?在目前西周列王年代诸说中,懿王元年有的早到公元前966年,有的迟到公元前895年,相差71年.作者考察了这一时期发生的日食(详细内容另文讨论),的确只有方善柱、彭颢钧等先生认定的公元前899年4月21日日环食的可能性最大.

2 公元前899年日食与地球自转长期变化

发现地球自转不均匀是20世纪天文学发展的一项重要成果.今天推算历史上的日月食,必须知道定量地描述地球自转长期变化的 ΔT ——世界时改正数的数值,它表征在所分析的时段内,守均匀时的时钟与守世界时时钟间积累的时间差,一般记作 ΔT ($\Delta T = ET - UT$, UT 为世界时, ET 为历书时,是均匀时的一种).历史上各个时期的 ΔT 值大小,主要通过研究文献记载的注有交食时刻或发生在日出日没的日月食(时间可知),以及中心日食(全、环食)和近中心日食观测得出的.目前使用最早的为公元前8世纪的资料.如果能够认定“天再旦于郑”的确是公元前899年4月21日在郑日出前后观测到的日环食现象,那么,这实际上等于发掘了一条约3000年前的纪时观测记录.同时,新疆观测证实只有全、环或几尽日食才会产生天再旦的感受,则华县一定位于环食带内或在它的边缘.这样,我们可用纪时日食以及中心日食两种方法来计算得出相应的 ΔT 值.由此得出的结果可将现在由中国古代天象记载得到的 ΔT 值向前延伸约200年.而由它反映的地球转速变化情况,对于推算远古(夏、商、周)的日月食将有非常重要的意义.

2.1 由纪时日食方法得出的 ΔT

根据汉森方法及J-2历表,选取月球潮汐加速度 $n = -26''.0/\text{cy}^2$ (cy 为世纪,下同),计算得出前899年4月21日日环食在华县、西安及各地的见食食分、各食相历书时时刻的数值(篇幅所限,详细数据无法列出,可参阅文献[4]).这次日食在华县、西安的见食食分、食甚时刻与1997年3月9日日全食在塔城的情况十分相近,后者观测证实食甚在日出到日出前15 min均能明确感觉到“天再旦”.由此可得出 ΔT 值:(1)日出时食甚: $\Delta T = 5.95\text{ h}$;(2)日出前15 min食甚: $\Delta T = 6.20\text{ h}$.

2.2 由中心日食方法得到的 ΔT

利用古代交食记载研究 ΔT 的所谓“中心日食”方法,是基于中心日食的中心食带宽度有限,在地球表面只经过局部地区,中心食带在地表的实际位置与以均匀时间系统为标度求得的理论位置在经度方向上存在差别($\Delta\lambda$), $\Delta\lambda$ 可换算为表示地球自转速率不均匀造成世界时变化的积累值 ΔT .本工作中,中心线的理论位置是在历书时 ET 系统下求出的,则 ΔT 可表示为:

$$\Delta T = \Delta\lambda / 1.002738,$$

其中 $\Delta\lambda = \lambda_e - \lambda_0$.

式中, λ_0 表示观测地的地理经度, λ_e 表示理论中心线上与观测地同纬度处点的历书经度. 研究中规定经度值均以向西度量为正.

中心日食法主要用于观测者确实看到了中心日食现象及观测地点可知或通过考证可确认的日食. 中心日食方法的误差主要来自观测地中心食带在经度方向具有的宽度引起的不确定性, 对于发生在古代的日食, 由此在 ΔT 中引起的相对误差较小. 这个方法也适用于近中心日食(大食分日食), 其误差与观测地的食分有关, 食分越大, 误差越小.

引起“天再旦”的这次日食, 对观测地点来说, 至少应是一个食分很大的近中心日食, 或者可能是中心日食, 可以用中心日食方法研究它. 计算得 ΔT 约为 6.1 h, 如果“郑”见到的是中心日食, ΔT 的不确定范围约为 0.2~0.3 h, 如果见到的是大食分日食, 不确定范围可能达到 0.5 h, 这与彭颀钧的结果是不矛盾的, 以计时方法得到的结果也在中心日食方法结果的误差范围之内.

3 结语与讨论

通常可以用抛物线方程近似地表示某一历史时期的 ΔT 值, 即 $\Delta T = ct^2$, 其中 t 为自 1800.0 年起算的儒略世纪数. 以纪时日食方法求出的日出时食甚和日出前 15 min 食甚的 ΔT 值, 相应的 c 值分别为 $29.43^s/cy^2$ 和 $30.67^s/cy^2$, 以中心日食方法求得的 c 值约为 $(30.17 \pm 2.47)^s/cy^2$.

我们选取自西汉至隋末 800 年间 32 次日食的時刻观测记载和春秋至汉初 5 次日全食或几尽日食记载, 得出的 c 的平均值分别为 $32.30^s/cy^2$ 和 $33.26^s/cy^2$ ^[5]. 不难看出, 前一数值 ($32.30^s/cy^2$) 与公元前 899 年 4 月 21 日日环食在华县日出前 33 min 食甚相当, 后者 ($33.26^s/cy^2$) 与日出前 46 min 对应. Stephenson 研究相当于中国春秋时代的几个国家和地区的 33 次确切日食记录, 得出的 c 为 $32.5^s/cy^2$ ^[6], 与作者由中国纪时日食得到的结果相近. 同时我们看到, 如果“天再旦”的确是公元前 899 年的日环食记录, 由此得到的 ΔT 值与由春秋战国时期的日食记载得到的结果略有差别, 原因可能是: (1) 观测者在“郑”看到的不是中心日食, 而是近中心日食, 或者食甚与日出的时刻有略大的距离; (2) 也许那时地球自转的速率与春秋战国时期有一定的差别. 这些均有待更深入的研究.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号: 19573011)资助项目.

参 考 文 献

- 1 方善柱. 西周年代学上的几个问题. 大陆杂志, 1975, 51(1): 15~23
- 2 Pang K D, Kevin Yaum, Hung-hsiang Chou, et al. Computer analysis of some ancient Chinese sunrise eclipse records to determine the Earth's rotation rate. *Vistas in Astronomy*, 1988, 31: 83~847
- 3 Pang K D, Kevin K. Yau, The need for more accurate 4000-year ephemerides, based on lunar and spacecraft ranging, ancient eclipse and planetary. *Dynamics, Ephemerides and Astrometry of the Solar System* (Ferraz-Mello S, eds.), 1996. 113~116
- 4 张培瑜. 天再旦与日食. 地球物理学进展. 1998, 13(1): 84~99
- 5 张培瑜, 韩延本. 八世纪前中国纪时日食观测和地球转速变化. 天文学报, 1995, 36(3): 314~320
- 6 Stephenson F R, Said S S. Non-tidal changes in the Earth's rate of rotation as deduced from medieval eclipse observations. *Astron Astrophys*, 1989, 215: 181~189

(1998-08-29 收稿, 1999-04-18 收修改稿)