

# 金星凌日及中国古代的相关记载

戴 闻

2004年6月8日，金星凌日准时光临。当时，金星恰好穿越地球与太阳之间的连线。从地球上看来，金星就像是一颗“美人痣”，从东向西缓缓地爬过太阳火红的面庞。这是百年未遇的天文现象，可以说，现在生活在地球上的任何人都未曾亲眼目睹过。天文学家告诫公众，为了避免眼睛受到伤害，观察金星凌日需要用铝膜减光镜。不幸，我以前为观察日蚀所购置的减光镜，一时找不到了，只好剪了三段充分爆了光的照相底片，作为替代滤光片。我想，在中午阳光最强时，可以将三张底片叠在一起观看；在太阳即将落山时，或许只用一张底片效果更好。

## 凌日路线和凌日周期

当金星从东向西刚刚接触到太阳圆盘，天文术语称之为“凌始外切”；当金星刚刚走入到圆盘之内，称为“凌始内切”。然后，在金星离开圆盘的过程中，还将有“凌终内切”和“凌终外切”。按照预报，在北京地区观看，上述4种“切”所对应的时间依次为13:13、13:15、13:32、17:18、18:59、27和19:18:53。这就是说，整个凌日过程平均历时5.7733小时或0.24056天。应该说，6月8日的整个下午我都在努力地观察。急切的心情使我甚至对下午6时以后的云遮日发出了诅咒，但观察结果并不理想。只能说，我依稀亲眼目睹了金星凌日的奇观。究其原因，一是由于自身的眼力不佳，二是由于对金星凌日的路线有所误解。原来，新闻媒体上给出的凌日路线图不是以南方地平线的两端作为东方和西方，而是以太阳视运行轨迹——黄道定义东方和西方，见图1。我们知道，在夏至前后，太阳从东北方升起在西北方落下，黄道表现为在南天高空跨越东西的一条圆弧。在正午时分，黄道给出的东方和西方，与以地平线为参照的东和西一致。然而，在太阳西落的过程中，黄道与地平线的交角可达45°以上。于是，按照媒体上给出的图，凌日路线是从左至右穿过太阳圆盘下半部的



一条弦（见图1）；但在我们看来，凌日路线则是从太阳圆盘的左下方进入，最后从下方退出。总之，我之所以未能准确地“捕获”太阳脸上的那颗“美人痣”，其技术原因在于“错把我的左和右当成了黄道的东和西”。

图1还给出了最近其他几次金星凌日的路线图。我们看到，从1761年6月6日至2012年6月6日，总共6次金星凌日的间隔分别是8年、105.5年、8年、121.5年和8年。由

此可以归纳出，金星凌日的发生以243年为周期，在一个周期内有4次机会出现凌日现象。之所以说有4次机会，是因为历史上的确发生过“应该出现而没有出现”的情况。按照上述243年的周期，公元902年12月和公元910年12月都应该有人看见金星凌日。但事实上，按照阿拉伯人法拉比的观测记录，他仅仅在公元910年12月亲眼目睹了金星斑点从太阳圆盘的中心穿过（历时8小时，可能是人类记录到的最长的金星凌日）。如果事情真的像法拉比所描述的那样，那么此前8年（公元902年）或此后8年（公元918年）都不会有凌日发生。从图1中我们可以看到，相隔8年的两次凌日路线的角距离（约20角分）比太阳的视半径（约16角分）略大。如果其中一次凌日是从太阳圆盘的中心穿过，则相差8年的另一次凌日机会将丧失——届时金星虽然近似地位于地球与太阳的连线上，但它不可能遮挡太阳投向地球的阳光；严格地说，它或是位于黄道面的上方，或是位于黄道面的下方。

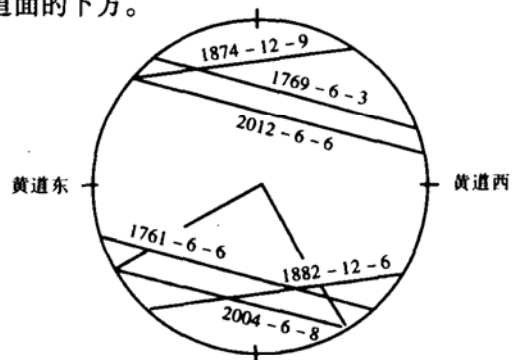


图1 最近几次金星凌日路线图

地球绕日一周是 365.2422 天,金星绕日一周是 224.701 天。按照开普勒第二定律,由此可以导出金星轨道半径  $d_{\text{金-日}}$  与地球轨道半径  $d_{\text{地-日}}$  之比,  $d_{\text{金-日}} / d_{\text{地-日}} = (224.7/365.25)^{2/3} = 0.72$ 。“地-金-日”排成一条直线,称为金星“下合日”。从下合日开始,583.92 天之后,地球转过了 1.5987 圈,金星绕日也转过了 1.5987 圈,结果有了又一次下合日。不过,此时从地球上看来,太阳在恒星背景上的视位置将不同。只有当地球转过了 8 圈(8 年),而金星转过 13 圈,即第 6 次金星下合日时,天幕上的恒星背景才能复原,见图 2。

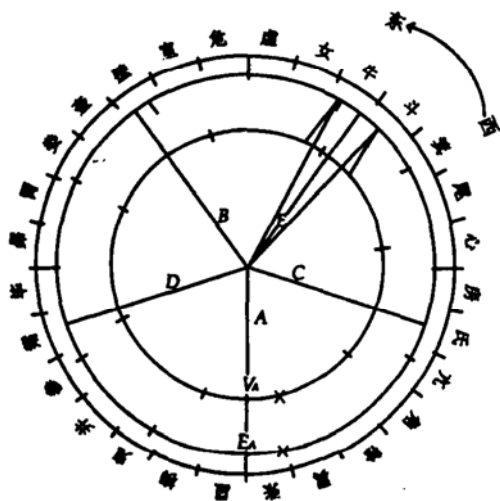


图 2 金星与地球绕日运行的轨道,内圆是金星轨道,它的外侧是地球轨道,在外圆上标出了中国古代 28 星宿的名称

上述规律,早在汉代初期就已经被我们的祖先认识到了(见下文)。实际上,金星凌日的发生比 8 年一次还要稀少得多;这是因为地球和金星的轨道平面不完全重合,两者的轨道都不是严格的圆。

### 利用金星凌日测太阳的直径

1761 年金星凌日的预报是由天文学家哈雷(Edmund Halley, 1656 ~ 1742) 在生前作出的。同时,他还提出了利用金星凌日测量太阳角直径的建议。这次凌日现象引起了全球天文工作者和天文爱好者的极大关注,特别是在正为独立而奋争的美国。来自世界各地数十个观测点的数据汇集到了一起,由此人类初步测定了地球与太阳之间的距离。

地球在每年的 1 月 3 日位于近日点,  $d_{\text{地-日}} = 1.47$  亿 km; 在每年的 7 月 4 日位于远日点,  $d_{\text{地-日}} = 1.52$  亿 km。现代天文学测定  $d_{\text{地-日}}$ ,也是利用金星合日——首先用雷达波(脉冲)反射的方法精确测

定地球与金星间的距离  $d_{\text{地-金}}$ ,然后应用开普勒定律经换算导出  $d_{\text{地-日}}$ 。关于太阳的直径  $D_{\text{日}}$ ,一般说来,可以用望远镜直接测量:望远镜测得太阳盘子的角直径  $\theta \approx 32$  角分(或 9.3 毫弧度),在已知  $d_{\text{地-日}}$  的情况下,立即有  $D_{\text{日}} = d_{\text{地-日}} \times \theta = 1.4 \times 10^6 \text{ km} = 109 \times$  地球直径。然而,应该指出,利用金星凌日测量太阳直径,有可能提高测量精度。

地基光学望远镜的角分辨率是 0.85 角秒,太阳的角直径是  $32 \times 60$  角秒,因此望远镜方法的测量精度是 1/2000。金星凌日现象为我们辨认太阳的边缘提供了明显标记。因此,利用凌日现象,可以将原来的角度测量转换成时间测量。如前所述,凌日过程耗时 5.7733 小时,假定时间的测量误差是 1 秒,则测量精度可以提高到 1/20000。并且,这样的测量无需专门的设备,天文爱好者也能很好地完成。

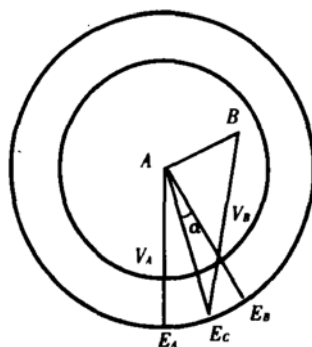


图 3 金星凌日点在太阳盘子上的轨迹,  $\overline{AB}$

图 3 是金星凌日轨迹产生的示意图—— $AB$  本应落在太阳圆盘上,这里的尺寸被大大夸张了。图中  $E_A$ 、 $E_B$  和  $E_C$  是地球位置,  $V_A$  和  $V_B$  是金星位置,  $A$  点是凌始切点。如果地球和金星的轨道运动角速度一样,则凌日点将保持在  $A$  位置不动,正如图中  $E_B$ 、 $V_B$  和  $A$  三点成一条直线。现在,地球的角速度比金星慢,在凌日持续 5.7733 小时之后,当金星运行到  $V_B$  时,地球仅仅到达  $E_C$  点。结果,凌日点在太阳盘子上移到了  $B$  点——凌终切点。图 3 中,角  $\alpha =$  地球与金星的角速度差  $\times$  凌日持续时间,  $E_C E_B = d_{\text{地-日}} \times \alpha$ 。于是,  $AB / E_C E_B = d_{\text{金-日}} / d_{\text{地-金}} = 0.72 / 0.28$ , 结果  $AB = 0.998 \times 10^6 \text{ km}$ 。  $AB$  是太阳盘子上的一条弦,只有知道了它与直径  $D_{\text{日}}$  之间的比例,才能最终导出  $D_{\text{日}}$ 。真可谓天赐良机,2004 年 6 月 8 日金星凌日的轨迹对于太阳盘子圆心的张角恰好约等于  $90^\circ$ (见图 1),这意味着,  $AB = (\sqrt{2}/2) D_{\text{日}}$ 。最后,我们得到  $D_{\text{日}} = 1.4 \times 10^6 \text{ km}$ ,

这正是所期待的结果。

### 地、金、日和恒星背景间的相互关系

在图 2 中,地球轨道被等分成 12 段,每段 1 个月(约 30.44 天),相应的金星轨道每一段也是 30.44 天,于是金星绕日一周(224.7 天)耗时 7.38 个地球月。从图 2 中  $E_A$  和  $V_A$  位置开始,8 天以后(见图中的两个  $\times$  点)金星的视位置将在太阳的西边。此前金星与太阳的角距离太小,加之金星朝向地球的一面几乎得不到阳光,因此金星被阳光淹没,我们看不到金星。由图 2 可知,在金星下合日前后总共会有 16 天看不到金星。我们的祖先称这 16 天为金星“伏行”,并把“伏行”后的金星重现表述为“太白(金星)晨出东方”。当金星位于太阳西边,由于地球自转,人们必将在太阳升起之前看到金星,此时的金星又被称为“启明星”。

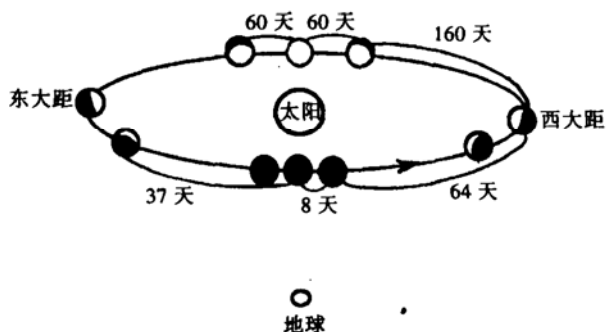


图 4 从地球上金星与太阳间的位置关系,在金星上标出了位相(或朔望)变化

从金星下合日(图 2 中的  $E_A$  和  $V_A$ )起,37 天之后,从地球上,金星被太阳照亮一小半。此间,金星与地球相距不远,因此看上去最亮,相当于 - 4.4 等星。历史上(1610 年),伽利略第一个用望远镜观察金星。他发现,金星像月亮一样,也有位相(或朔望)的变化,见图 4。下合日 72 天后,金星到达“西大距”的位置,此时它与太阳的角距离成为极大,为  $46^\circ$ 。这一天,金星比太阳早 3 小时从东方升起。此后的 160 天(从下合日后的 72 天到 232 天),金星与太阳的角距离日益减小,直到我们看不见,中国古代称为“晨入东方”。这时,地球与金星之间的距离接近最大  $1.72 d_{地-日}$ ,它相当于最小距离  $0.28 d_{地-日}$  的 6 倍多,因此金星盘子看上去很小(此时是 9.9 角秒,而最大时是 64.5 角秒)。

从下合日算起,从第 232 天至第 292 天(计 60 天),金星又被阳光淹没,中国古代称为“浸行”。第 292 天(下合日之后的 9.6 个月)是金星“上合日”。

17 卷 1 期(总 97 期)

这一天太阳正好位于地球与金星的连线上,读者不妨试着从图 2 中找出这一点。

如果不关心恒星背景的变化,上合日以后的金星运动看起来与此前的 292 天是对称的,见图 4。金星继续经历再一个 60 天的“浸行”之后 160 天达到“东大距”。此时,金星在太阳的东侧,角距离极大,为  $46^\circ$ ,它比太阳晚了 3 小时从西方落山。这期间的金星又被称为“长庚星”。东大距之后的 64 天中,金星先渐亮而后渐暗,然后进入 16 天的“伏行”期。“伏行”期的中点即金星下合日,金星重新回到地球与太阳的连线上(见图 2 中的 B 线)。相邻两次下合日之间,约 584 天(19.2 个地球月)。

### 中国古代的相关记载

1973 年冬,在汉代马王堆三号墓出土了一份记载行星运行的佚名帛书《五星占》。帛书原件本来没有篇名,《五星占》是文物工作者加上的,事实上,其中并无占星内容。《五星占》全文约 6000 字,记录了从秦始皇元年(公元前 246 年)到汉文帝三年(公元前 177 年)共 70 年期间木星、土星和金星在天幕背景上的视运动状况。

表 1 黄道 12 宫与中国古代 28 星宿之间的对应关系

|      |               |    |    |
|------|---------------|----|----|
| 12 宫 | 摩羯            | 宝瓶 | 双鱼 |
| 28 宿 | 斗 牛 女 虚 危 室 壁 |    |    |
| 12 宫 | 白羊            | 金牛 | 双子 |
| 28 宿 | 奎 娄 胃 昴 毕 觜 参 |    |    |
| 12 宫 | 巨蟹            | 狮子 | 室女 |
| 28 宿 | 井 鬼 柳 星 张 翼 轸 |    |    |
| 12 宫 | 天秤            | 天蝎 | 人马 |
| 28 宿 | 角 亢 氏 房 心 尾 箕 |    |    |

由于地球自转轴的进动,我们今天在特定季节特定时刻所看到的星空,与 2200 年前我们的祖先相比,已经沿黄道向西漂移了约  $30.8^\circ$ 。为了能够展示《五星占》中记载的正确性,表 1 给出了黄道 12 宫与中国古代 28 星宿之间的对应关系。将背景恒星分为黄道 12 宫,是鉴于太阳每月在天幕上东行一个宫( $30^\circ$ );而中国古代将黄道星分为 28 宿,则是鉴于月亮每天自西向东移动一个宿( $13^\circ$ )。事实上,两种划分都有它的科学性和应用价值。现代的冬至,太阳在天幕上的视位置大约位于天蝎座与人马座之间;而 2200 年前的冬至,太阳大约位于人马座与摩羯座之间。在我国现行的天文论著中,有些著名恒星仍然沿用中国古代的命名,例如位于天蝎座的“心宿二”、位于室女座的

“角宿一”、靠近双子座的“参宿四”和位于金牛座的“毕宿五”。读者不难从上述命名验证表 1 所给出的对应关系。

表 2 《五星占》中金星星象与记年的对应

| 金星   | 年 份 |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 星象 1 | 1   | 9  | 17 | 25 | 33 | 41 | 49 | 57 | 65 |
| 星象 2 | 2   | 10 | 18 | 26 | 34 | 42 | 50 | 58 | 66 |
| 星象 3 | 3   | 11 | 19 | 27 | 35 | 43 | 51 | 59 | 67 |
| 星象 4 | 4   | 12 | 20 | 28 | 36 | 44 | 52 | 60 | 68 |
| 星象 5 | 5   | 13 | 21 | 29 | 37 | 45 | 53 | 61 | 69 |
| 星象 6 | 6   | 14 | 22 | 30 | 38 | 46 | 54 | 62 | 70 |
| 星象 7 | 7   | 15 | 23 | 31 | 39 | 47 | 55 | 63 |    |
| 星象 8 | 8   | 16 | 24 | 32 | 40 | 48 | 56 | 64 |    |

关于金星,《五星占》首先以列表(8行10列)的方式给出每一年所对应的星象,表2是它的结构。表2最左边的一列是关于金星视位置变化的描述,而从第2列到第10列则是与某一星象对应的年份。例如:年份1是指秦始皇元年,年份41是指汉高祖元年,两者均对应星象1;年份60是指吕后元年,年份68是指汉文帝元年,这两者均对应星象4;年份53是指汉惠帝元年,它对应星象5。

显然,表2并不是原始的观测记录,而是在了解了金星每8岁复位的规律后制成的总结性文档。这里的岁,按照笔者的理解,是指恒星年而不是历法记年。否则,由于历法记年在有的年份出现闰月,天象不可能以8岁的周期复原。从图2可知,每当地球绕太阳转过8圈,金星恰好转过13圈,此时从地球上看见金星、太阳和恒星背景,所有方位都将复原。另一方面,如果只关心地球、金星和太阳三者的关系,8岁之中则是经历了5个周期。

在《五星占》金星表格(即表2)的后面,作者还对金星运行的规律作了概述。它指出,在金星“伏行”16.4天后,人们开始可以看到金星“晨出东方”(在图2中,E线东方的两条线对此作了示意:长的是地—日连线,短的是地—金连线);再过64天为金星西大距;又过160天,金星“晨入东方”,在东方看不见了(注意:这里的记录都表示为“经过了多少天”,而不是容易误解的“×月×日发生”,前者显然更准确、更科学);然后,是“浸行”120天,“夕出西方”;又160天后为东大距;再64天后,“夕入西方”,在西方看不见了(在图2中,E线西方的两条线对前一次的“夕入西方”作了示意),重新进入为期16.4天的“伏行”期。《五星占》最后给

出的会合周期是584.4天,在帛书中称为“一复”,它比当代的数据583.92天略大。然而,《五星占》正确地指出,“五复”之后一切复原(注:“五复”的每一次起始位置分别与图2中的A、B、C、D、E线对应)。

已知金星凌日的发生以243年为周期,从2004年6月8日开始,上溯2187年( $2187 = 243 \times 9$ ),很可能是出现金星凌日的年份。注意到,不存在公元零年,2187年之前应该是落在公元前184年,也就是表2中的第63年。在表2中,与这一年对应的是星象7,在《五星占》中是这样记载的:五月,当太阳位于“井宿”,金星“夕入西方”;“伏行”16.4天之后,六月,当太阳位于“鬼宿”,金星“晨出东方”……

不妨设秦始皇元年是第1次金星下合日(图2中的A线),那么在公元前184年应有第40次下合日,它对应图2中的E线。读者很容易发现,在E线的西、东两侧,地—日连线先后指向“井宿”和“鬼宿”,这与上述星象7的记述完全吻合。当然,我们的祖先可能没有目睹金星凌日的奇观,但他们的记录不仅正确地给出了诸星运行的正确方位,而且正确地给出了金星下合日发生的时间,即五月和六月之间(注意,凌日应发生在公历6月8日前后)。

2004年6月8日的金星凌日,在北京地区观看时,表现为带凌没,即太阳落山时金星凌日过程还未完成。据此,笔者参照活动星图确定,凌日时在背景天幕上太阳位于恒星“参宿四”和“毕宿五”之间。按照表1的对应关系,2004年金星凌日时,太阳是位于“觜宿”之内。另一方面,按照《五星占》,在公元前184年金星下合日时,太阳的方位是在“井宿”和“鬼宿”之间。参照表1,我们可以导出,相差2187年的二次下合日其间恒星背景的漂移。上述“觜宿之内”和“井鬼之间”,在黄道上相距2.5个星宿,角距离约为 $2.5 \times 13^\circ = 32.5^\circ$ 。令人惊讶的是,这一结果与现代天文数据(2200年以来,恒星背景沿黄道西移了 $30.8^\circ$ )竟如此接近!

我们祖先对星象的记录称得上是世界上保存最完整、时间跨度最长的天文档案。这些档案,即使在今天依然有着科学价值。

(北京2711信箱中国科学院理化技术研究所100080)