

RI YUE SHI DI SUAN

日月食计算

唐汉良 余宗宽 沈昌钧编著

江苏科学技术出版社

日 月 食 计 算

唐汉良 余宗宽 沈昌钧 编著

江苏科学技术出版社

日 月 食 计 算

唐汉良 余宗宽 沈昌钧 编著

江苏科学技术出版社 出版
江苏省新华书店 发行
南通县印刷厂 印刷

1980年 7月 第 1 版

1980年 7月第1次印刷

印数： 1 — 5000册

书号：13196·035 定价：0.98元

编 者 的 话

天文工作者常常利用日、月食有利时机进行各种观测，对太阳物理、天体演化及其他天文方面进行研究；而日、月食计算，对日食作出准确的预报，又是观测前非常重要的准备工作。同时，正确认识日、月食现象，掌握日、月食计算方法，还可以帮助破除有关的迷信思想。

本书从浅显的日、月食基本原理谈起，循序渐进，最后导出日、月食预报的一整套公式，并给出具体的算例。叙述中有较多的图示，可以给人直观概念，以弥补文字之不足。本书可供天文爱好者参考阅读。

南京大学天文系赵却民教授，曾对本书进行了认真的审阅，并提出了许多宝贵意见，特此表示诚挚的谢意。

一九七九年十二月

目 录

第一章 世界最古的日、月食记录及各种传说·····	1
第二章 日、月食的一般原理·····	6
一、日食的现象·····	6
二、月食的现象·····	6
三、地球的运动·····	7
四、太阳的视运动·····	10
五、月亮的运动·····	13
六、月亮的视运动·····	16
七、日、月食的道理·····	16
第三章 日 食·····	19
一、日食的种类·····	19
二、月亮本影的长度·····	20
三、日食的条件·····	24
四、日食的界限·····	30
五、日食的过程·····	32
六、日食界限图的类型·····	34
七、一地见食最长的时间·····	38
第四章 月 食·····	42
一、地球的影子·····	42
二、月食的种类·····	44
三、月食的过程·····	46
四、月食的延续时间·····	46
五、望日发生月食的条件·····	47
六、月食的界限·····	51

第五章 日、月食的循环规律与食数	54
一、食 季.....	54
二、一年内可发生食的次数.....	55
三、日、月食的循环规律.....	63
第六章 观测日、月食的科学价值	75
第七章 日食的计算	82
一、白塞耳坐标系.....	82
二、求任何时刻月影锥轴的方向.....	83
三、月亮中心的坐标.....	85
四、月影锥的截面积.....	87
五、观测地的坐标.....	92
六、月影与观测者的相对位置.....	98
七、月影锥的方程式.....	99
八、方位角	100
九、食 分	102
十、初亏、复圆和食甚的判别	103
十一、全食或环食的中心线	107
十二、日食的南、北界线	108
十三、轮廓线	111
十四、日出没时的初亏、复圆和食甚线	113
十五、中心线的端点	116
十六、界限线的端点	116
十七、求某地发生初亏、食甚、复圆的时刻	119
十八、日食的算例	120
第八章 月食的计算	217
一、月食的计算公式	217
二、月食的算例	222
三、月食图的绘制	234

附表 1 1821~2028年间日食(中心食)表238

附表 2 1821~2020年间月食表246

附表 3 白塞耳内插系数表254

附表 4 地心坐标计算表257

第一章 世界最古的日、月食记录 及 各 种 传 说

我国的古书书经里面有一篇关于日食的记录，记载在胤征篇，原文是：“惟仲康肇位四海，胤侯命掌六师，羲、和废厥职，酒荒于厥邑。胤侯承王命徂征，告于众曰：嗟予有众，圣有谟训，明征定保，先王克谨天戒，臣人克有常宪，百官修辅，厥后惟明明。每岁孟春，道人以木铎徇于路，官师相规，工执艺事以谏，其或不恭，邦有常刑。惟时羲、和，颠覆厥德，沉乱于酒，畔官离次，俶扰天纪，遐弃厥司。乃季秋月朔，辰弗集于房，瞽奏鼓，啬夫驰，庶人走。羲、和尸厥官，罔闻知，昏迷于天象，以干先王之诛。政典曰，先时者杀无赦，不及时杀无赦。……”

这篇记载大概的意思：在中国仲康时代，有二个掌天地四时之官；一个叫做羲，一个叫做和。他们疏忽于职守，不仅没有预先测到日食的日期，并且在日食的时候，他们正喝得烂醉，没有去观测日食。按照当时的律条，凡是历象节气朔望等等，如果推算的日期过早或过迟，都应该处死，何况当时羲、和根本没有观测更应被处死。从这里可以看出我国古代早已重视天文了。这篇资料为古今中外天文家所公认的最古的日食记录。

但是这次日食发生的年月，还没有得到一致的结论。关于书经日食的日期，中外学者议论纷纷。兹罗列诸说如下：

唐朝一行等认为，在公元前2128年10月13日。

明朝李天经等认为，在公元前2155年10月12日。

夫累提和噶西尼计算，在公元前2007年10月25日。

甘巴士计算，在公元前2156年10月22日。

奥泊子第一次计算，在公元前2137年10月22日。

奥泊子第二次计算，在公元前2072年10月23日。

什雷该尔和古纳特计算，在公元前2165年5月7日。

拉该提安和查尔麦斯计算，在公元前2127年10月12日。

从上面诸说看来，对这次日食的年代，很不一致，最早的推到公元前2165年5月7日，最晚的到公元前2007年10月25日，两者之间竟相差一百五十八年。所以这个纪事，还值得历史学家考证。

我国古代的日食纪事，除上述书经记载的那次日食是最早的日食纪事外，还有较古的日、月食记载，在诗经小雅载有：“十月之交，朔日辛卯，日有食之，亦孔之丑。彼月而微，此日而微，今此下民，亦孔之哀。日月吉凶，不用其行；四国无政，不用其良。彼月而食，则维其常；此日而食，于何不臧。”根据天文家推算，这次日食在周幽王六年，在该年九月望日有月食，十月朔有日食。当时周幽王荒淫无道，故官吏们借这事来讽刺幽王。诗中的意思：前次的月食是寻常的事情，这次的日食，不知道坏了什么事，因此把幽王所做的坏事说了一大堆。据天文家推算结果，这次日食在公元前776年9月6日，月食在同年的8月21日。这是我国第二个最早的日食记录和第一个最早的月食记录。

到了春秋时代，从鲁隐公三年（公元前720年）到鲁哀公十四年（公元前481年）的二百四十年间，记载日食达到37次，兹列表于后。

其实，在中国的历史资料中，有许多日月食记载，上面所说的是较古的一部分。在国外，从巴比伦和尼涅维的废墟中所得的陶土器皿和断裂的石碑上，也得到六次较古日食的记载。在这六次中最早的一次，是公元前911年发生的，其中有一次在公元前585年，那时小亚细亚地方里第安及米狄二部落已经战斗五年，胜败互见，希腊人泰理士预知当年日食的日期，因此编了个谎话说：“天帝对你们的战斗很厌烦，现在将发生日食的现象来警告

表1.1 春秋时代日食表

史 纪 日 食				推 算		类 别	所经地带
帝号	年	月 日	干支	公元前	月 日	干支	
鲁 隐公 桓公 桓公 庄							

〔注〕上面的37次日食中据推算结果，有六次日食与推算情况不大符合，这六次日食的不符，可归为三种情况：（一）僖公十五年和昭公二十四年的，这两次日食，中国是看不到的。（二）襄公二十一年十月和二十四年八月的，这两次年月不大符合，并无日食发生。（三）宣公十七年和昭公十七年的，这两次日食所载干支不符。以上情形是由于史料误载的结果。

你们。”不久，两军正在酣战的时候，果然发生了日食，白天突然变为黑夜，战士们惊惶万状，丢弃了器械和枪械，四散逃命，就这日食的事件，使他们两个民族缔结了长期和平条约。

从前面可知，日食发生的道理，在古代只有极少数的人知道。在科学未发达时代，人们对日食时白天突然变为黑夜，认为是一种不可理解的现象，因此流传了许多迷信的传说。我国史料的记载，虽然比其他国家早，但是就所载的辞句来说，包含着许多迷信的观点。例如说日食是“阴侵阳”的结果，所以要救太阳，必须“壮阳”；又如谷梁传（庄公二十五年）上说：“天子救日，置五麾，陈五兵五鼓，诸侯救日置三麾，陈三兵三鼓；大夫击门，士击析，充其阳也。”又如左传（昭公二十四年日食）所载：“梓慎曰：将水。昭子曰：旱也。……”一个说是将发生水灾，一个就说将发生旱灾。他们不仅对日食作为灾难的象征，并且有各种各样迷信的说法。从前日食、月食的“食”字是这样的写法——“蚀”。他们认为日食和月食时太阳和月亮的亏损，好象是虫食树叶一般的，俗说是一个妖精“大虾蟆”，把太阳或月亮吞食了，所以成了日食和月食。但是虾蟆怕金革的声音，因此在日食或月食的时候，就敲锣打鼓，使它把吞下去的太阳或月亮重新吐出来。到近代，在我国某些偏僻的乡间，还有“乌月吃白月”和“野月亮吃家月亮”等等的话。又如印度的神话，认为日食和月食，是天空有一条黑爪的巨龙，它把太阳和月亮当作珠来戏耍。当太阳被黑爪捉住就成日食；当月亮被黑爪捉住就成月食。而以前在瑞典、挪威、丹麦等国则另有一种说法，认为在天空有两个饿狼在追日月，如果被它追着的时候，就被它吞下去，所以当日食或月食的时候，就把厨房里烧饭的家伙当鼓敲起来，吓退饿狼，把太阳或月亮重新吐出来。

由于过去人们对于日食缺乏正确的认识，产生了各种迷信，因此有的教皇、皇帝以及奴隶主利用日食的现象来宣传迷信，愚弄人民，把日、月、星辰的运动神秘化。现在列举几个例在下面：

(一)在古代中国,当日食快来的时候,皇帝就号令全国斋戒沐浴,自己也带头吃素打锣,扬言抢救太阳,所以日食的各种迷信传说广为流传。

(二)当日食之前或日食的时候,回教和天主教教徒都向牧师忏悔。

(三)在南非洲纳塔耳(Natal)有一个矿主,在将要发生日食之前,召矿工谈话,说太阳要死了,如果能够献上一个大钻石,太阳就同意多活几年。当时缺乏科学知识的矿工认为是一种神秘莫测的恶兆,就拚命挖掘,结果获得了一个重45克拉的大钻石,欢欢喜喜送去见狡猾的矿主。矿主说:“我就可以把这个钻石劝活太阳,重新光照世界了”。在日食几分钟后,太阳又从黑暗里重露出来,而矿工却相信了他,以为这是无疑的事实。

人们在与自然的不断斗争中,逐步发现了自然规律,丰富了科学知识,但是这种科学知识,过去常为剥削阶级所垄断。长期以来,有关日食和月食的荒唐的迷信传说仍然广为流传,甚至把日食和月食看成战争、饥荒和种种灾祸的不祥之兆,使人们相信有什么超自然的力量——“神”或“怪”支配着自然,支配着人们的命运。这种唯心论,不仅妨碍人们学习科学知识和了解自然现象的科学道理,而且妨碍了人们对自然的斗争。

但是今天新中国的人民已经从长期的斗争中,体会到决定人们的命运,不是“神”和“怪”,而是人民自己。现在人民已经成了国家的主人,要求了解自然,改造自然,使大自然为人类的利益服务。我们认为日食和月食是一种自然现象,它们的规律可以为人们所掌握。下面我们介绍一些有关日食和月食的道理与计算方法。

第二章 日、月食的一般原理

一、日食的现象

在大晴天里，万里无云，阳光灿烂。突然，一个黑影闯来，太阳光的热度逐渐地在减低，阳光也逐渐地暗晦起来，这时挂在天空的太阳已经不象平常那样，它的形状正在变化着，圆圆的光面渐渐地残缺起来，变成了镰刀的形状，继而象初三、四的一钩新月，最后光面完全消失了。这时白天突然变成黑夜，天上星辰闪烁，地面山河昏暗，鸟归巢迷了路，鸡入埘找不到门。一些不了解这种现象的人们，也认为天地大变，惨祸将临头，而惊恐不安。自古以来也不知有多少人受了这种现象的恐吓。事实上，这种现象就是日食。

二、月食的现象

在阴历十五日前后，月亮应该是圆正明亮地挂在天空。在这皎月当空的时候，忽然有一个黑影跑来，把月亮遮去一角，渐渐月亮残缺的部分大了起来；有时月亮只被黑影遮了一部分，以后黑影又渐渐地退去；有时整个月亮都被黑影遮住，经过半小时或一小时后，月亮又开始露出一丝的亮光，再等一、两小时，月亮才完全脱出了这个黑影，恢复本来又圆又亮的面目。这个现象叫做月食。

现在的人们都知道，日食和月食完全是一种自然现象。而这些现象的发生是有一定规律的。因为日、月食的发生规律和月

亮、地球的运动有密切关系，所以在谈日、月食的道理之前，先来谈一谈地球和月亮的运动。

三、地 球 的 运 动

“红日东升，白昼出现”；“夕阳西落，黑夜来临”。白天和黑夜就这样在不断地交替。在冰天雪地的寒冬之后，春季来了，自然界一切都活跃起来，草木变成绿色，花朵五颜六色地点缀着我们的花园，春风带着芬香的味道徐徐吹来，令人心旷神怡；春去夏来，在烈日炎炎下，夏熟谷物成熟了；夏季过去，秋季来临，草木和树叶渐渐变成了枯黄的颜色，树上的黄叶，一片一片地脱落；秋季过去，冬季又来了，重现冰天雪地的景象。象这样春夏秋冬四季不断地转换和黑夜与白昼的交替，是由于地球不断运动的结果。

地球有两种基本的运动：一种是自己本身的旋转；一种是绕着太阳转。自身的旋转叫做自转；绕着太阳的旋转叫做公转。由于地球的自转就产生昼夜的交替；由于地球绕太阳公转就产生春夏秋冬四季的转换。

我们都玩过或见过陀螺，把绕在陀螺上的绳子一抽动，陀螺就在地上转起来了。中腰鼓起的部分转得最快，两头就地旋转不变位置。陀螺的这种旋转，很象地球的自转。如图1所表示，通过地球南北两极的一根理想直线，叫做地轴。地

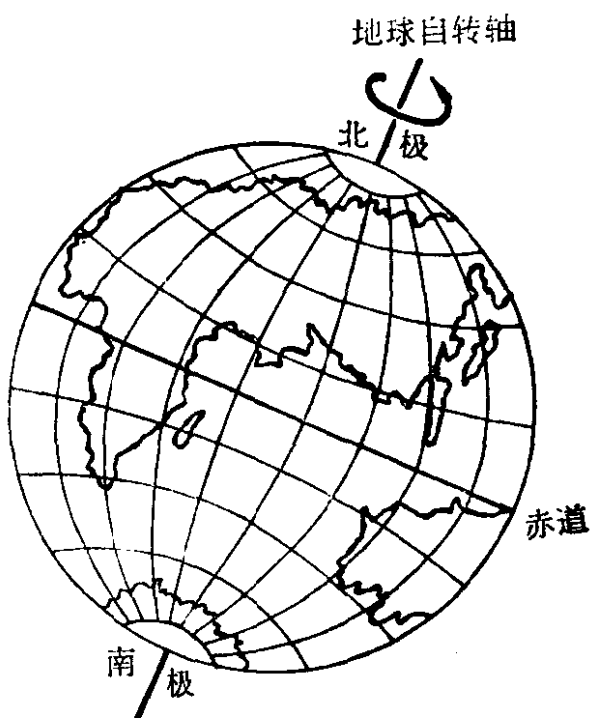


图1 地球自转轴——地轴

球的自转就是以地轴为中心旋转的。旋转时，南北两极不动，其

他表面各点都在绕地轴转动。离两极愈远的地方转得愈快。位于相隔两极等远的地方，叫做赤道。赤道地方转得最快，它的速度每分钟是30公里。也许大家有这样的怀疑，既然地球在旋转，为什么我们察觉不出来？其实这个怀疑，很容易解释，凡是坐过火车的人都有这种经验，当你坐在车厢里，路上很平稳，车厢不大震动，就常常感觉不到火车在飞快地前进，偶然向车窗外一望，就觉得窗外的树木和田野都在飞快地向后奔驰。我们在地球上情况也大体类似，由于地球是无声无息而平稳地在旋转，所以无论看到太阳、月亮和星星，都好像它们在转，而不觉到地球自己在动。地球是从西向东自转，所以使我们看到太阳、月亮和星星都是从东方升起，西方落下。地球本身是不发光的，地球上的亮光

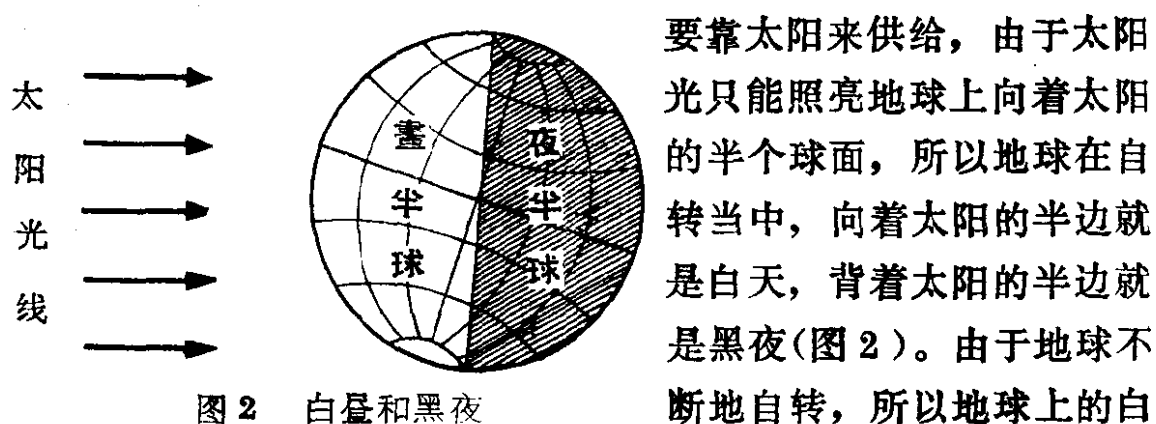


图2 白昼和黑夜

要靠太阳来供给，由于太阳光只能照亮地球上向着太阳的半个球面，所以地球在自转当中，向着太阳的半边就是白天，背着太阳的半边就是黑夜(图2)。由于地球不断地自转，所以地球上的白天和黑夜是相互更替轮换的。地球自转一周，即为一日，就是一个白天加上一个黑夜的时间，计24小时。

地球不但绕着地轴旋转，而且还以极大的速度绕着太阳运行。它绕着太阳运行的速度是每分钟1743公里，每秒几乎达到30公里，这种速度比炮弹的飞行速度还快数十倍。地球用这样快的速度，绕太阳一周还需要365天5时48分46秒。这个时间就是我们平常所说的一年，或称为回归年。

地球绕太阳公转的轨道是一个椭圆形，这个椭圆的长直径和短直径相差非常微小，因此可近似于正圆。太阳处在这椭圆的一个焦点，而不是在它的中心，因此地球和太阳间的距离，就有时远一些，有时近一些。在一月初地球离太阳最近的一点，叫做

近日点。在七月初地球离太阳最远的一点，叫做远日点（图3）。

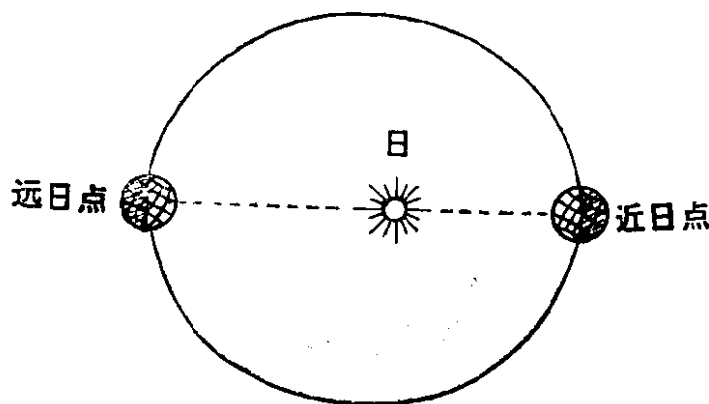


图3 近日点和远日点

地球在近日点距离太阳147,100,000公里，在远日点距离太阳152,100,000公里。平均距离是149,600,000公里。

这样看来，太阳在一月（北半球冬季）总是

离地球较近，对于这一点曾使许多人难以理解。对于这个疑问，可以用摄影的方法来证实它。用一月所摄太阳的照片和七月所摄太阳的照片来比较，一月的太阳直径比七月的太阳直径大三十分之一。由于一物体在近处看总比远处看大些，这就证实了一月太阳距离地球要近些。也许大家还有这样的怀疑：为什么一月太阳距地球近而地面反而比七月冷呢？其实，太阳的距离远近的变化不能造成一年的寒暑季节。地球发生四季变化的主要原因，是由于地轴对地球公转的轨道面倾斜的缘故。如果地球绕太阳公转时，地球一直是端正地站着，就是地轴对地球公转的轨道面一直是垂直的，那么，一年到头，太阳光就永远直射在赤道上，而地球上同一地点受太阳的热，任何季节都应该一样，将不会发生任何季节的变化。

实际上，地球绕太阳公转时，总是歪着身子的，好象陀螺在斜着转的时候一样。

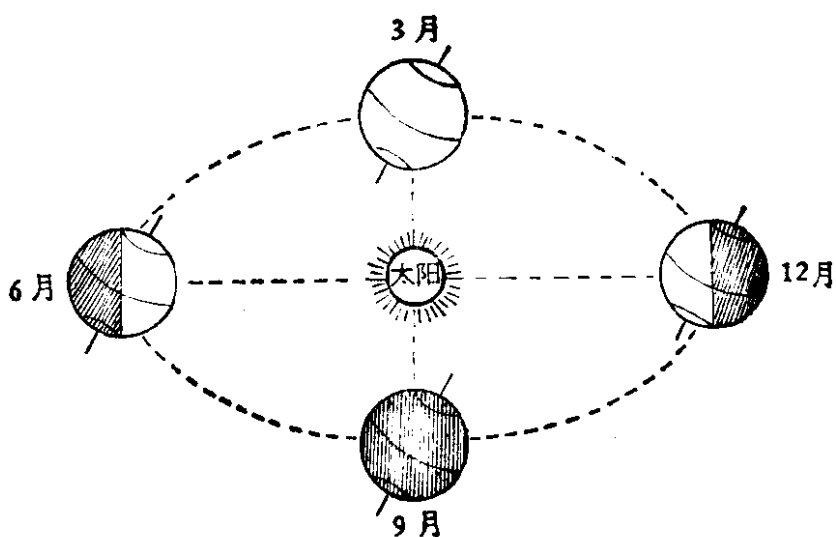


图4 地球的公转

地轴与地球绕太阳运行轨道面的倾斜度数是66度33分。地球赤道和轨道面的倾斜度数约为 $23^{\circ}27'$ 。由于这个原因，地球绕着太阳公转时（图4），太阳光线直射到地面的位置，便在赤道的南北移动。太阳的光线，有时大部分落在北半球地面上，有时大部分落在南半球地面上。我们烤过火的人都有这样的体会：直对火头就感到特别热，斜在火边上就不会感到那么热。为什么呢？因为所得到的热量不同，直对火头上热量集中，斜在火边上热量分散。同样的道理，太阳变换它的直射位置，就会使地球上面的受热量发生变化，天气的冷热就随着太阳光直射位置的变换发生更替，因而产生了春夏秋冬四个季节。

太阳光的直射位置的变化，是有一定规律的。由于地轴的倾斜，使太阳扩大了它的直射面积，以赤道为中心，有时往北移一些，有时往南移一些，因此就发生了冷热的现象。这向南向北来回的界线，在南的，叫做南回归线；在北的，叫做北回归线。每年太阳光的直射位置就以赤道为中心，先向北移到北回归线，再从北回归线回到赤道，然后向南移到南回归线，再从南回归线回到赤道。当地球绕太阳公转到3月21日左右的位置时，阳光直射在赤道上，这时北半球的阳光是斜射的，气候温和，便是春季。当地球运行至6月22日左右的位置时，阳光直射在北回归线上，北半球便成了夏季，相反地南半球便是冬季。当地球运行至9月23日左右的位置时，阳光又直射在赤道上，北半球便成了秋季。当地球运行至12月22日左右的位置时，阳光直射在南回归线上，在北半球便成了冬季，相反地南半球便是夏季。四季就是这样形成的。

四、太阳的视运动

地球绕着太阳公转的运动，也是非常平稳的，以致人们只觉得太阳在各星座间运动，而不觉得地球在绕太阳公转。远在古代