

日月交食基本原理

胡繼勤編著

商務印書館

日月交食基本原理

胡继勤 編 著

商 务 印 書 館

1959年·北京

內 容 提 要

本書共 24 节,分別叙述日月的物理概况,日、月、地三者在运动中的相对关系,日月交食諸类型及其發生的必要条件,同时运用几何学方法闡明了日月交食各要素推算、預測的基本原理;对于日月食諸类型發生时的景象,对这些景象的观测方法,这些观测对于天文学、物理学等研究的重要性,也有專門的介紹;对于我国历史上的日月食研究的巨大成就还作了概要的总结。全書附圖数十幅。

本書可供高等学校天文、地球物理、地理等系、专业学生,中学地理教师 and 对于天文学有兴趣的青年讀者参考、閱讀。

日 月 交 食 基 本 原 理

胡 繼 勤 編 著

商 务 印 書 館 出 版

北京东总布胡同 10 号

(北京市書刊出版业营业許可証出字第 107 号)

新华書店北京發行所發行 各地新华書店經售

五十年代印刷厂印刷 宣武裝訂厂裝訂

統一書号:18017·191

1959 年 8 月初版

1959 年 8 月北京第 1 次印刷

印張 2-1 $\frac{1}{2}$ /16

定價 (7) ¥ 0.28

開本 787×1092 1/32

字數 65 千字

印數 1—7,300 册

前 言

日食和月食是自然界的現象之一，正如晝夜交替的現象一樣，天文学家已經十分正确地研究过，并且能精确地推算、預測交食的日期和地点等等。我国古代的天文学家就曾在这方面創造了不少优良的成績，留下了世界上最早和最長久的日食紀錄，这是值得我們自豪的。

本書簡明地介紹了太阳和月球的运行規律和构成交食的各种情况，以几何学方法說明了基本原理，并敘述了日月的物理概況及一些近代理論和觀測方法，書末并附有近 50 年內的日全食表和月全食表，以备讀者查用。

胡 继 勤

1958 年 11 月于华南师范学院

目 录

一 引言	3	一六 地影的长度和宽度	58
二 日,月,地球	4	一七 月食的时间	61
三 月球表面的概况	6	一八 月食的观测	63
四 月球的公转周期和位相 的变化	10	一九 一年内交食的次数	66
五 月绕地球运行的规律	13	二〇 中国过去对交食预告的 成就	69
六 日食发生的必要条件	18	二一 沙罗周期	71
七 日食限	20	二二 其他的交食周期	82
八 月影的长度和宽度	25	二三 日月食研究在学术上的 意义	83
九 日食的时间	32	二四 日月食史话	86
一〇 日食的景象	36	附表 I. 近 50 年内日全食表 (1950—2000)	90
一一 怎样观看日食	40	附表 II. 近 50 年内月全食表 (1950—2000)	91
一二 太阳表面的概况	43		
一三 太阳对地球上的影响	49		
一四 月食发生的条件和型类	53		
一五 月食限	55		

一 引 言

日食和月食是一个很奇异的現象，同时也是一个很有趣的天文問題。

每天早晨，太阳就从东方上升；每到黑夜，天空就閃耀着星星：这都是我們日常見慣了的天空現象，不覺得有什么稀奇。但是在一个好好的大白天里，阳光普照，忽然太阳的光面黑暗了一塊，或者甚至于整个太阳都完全黑暗了，天空立时呈現一片夜色，星星在白天出現了，飞禽走兽都显出不安的样子，这样的事情会不会使人惊奇呢？有时候，滿月的晚上一輪圓月在天空明亮地照耀着，但是它有时慢慢地殘缺了，以至完全失去了光明，这样的事情又会不会同样的使你惊异呢？

这些現象我們就称为日食、月食。

日食和月食都是自然的現象，每年都有發生，并非神秘的事。但是在过去千百年中，人們由于不知道日月食發生的原因和出現的时间，所以每遇日食和月食就發生恐怖和惊慌，很多人以为这是一种神秘的不吉利的象征，是灾难降临的預兆，因此对于日月食的發生，古代世界各国和各个民族有种种傳說。我国民間从古代流傳下来的最普遍的說法，就是“天狗吃日”和“螭蜃食月”等等。每逢日食或月食，部分迷信的人們就敲鑼打鼓、放鞭炮等来“救日”或“救月”，以为这样可以吓退“天狗”和“大螭蜃”，把吞下去的太阳和月亮吐出来。

其实，我国古代的天文学家对于日食的研究和記載早有過

偉大的貢獻，如“書經”就記載着公元前 2137 年 10 月 22 日（即夏，仲康元年，九月初一日壬申朔）的日食，這就是全世界最古的日食記錄。但是在以往專制統治的時代，人民是沒有機會來理解這些科學知識的，只有到了現代，人們才能掌握科學知識，用正確的观点去觀察宇宙的現象，正確地認識日月交食的原理。

二 日，月，地球

日月食發生的原因說起來是非常簡單的，但是要作透徹的了解，我們得從太陽、我們地球，以及地球親愛的伴侶月球三個天體的本身談起。



圖 1. 高空火箭自動拍攝的地球曲面照片。

我們所居住的地球大家已經知道是一個圓球形的天體。但是實際上它並不是一般所理解的圓球體，而是接近於兩極略扁的橢圓球體。它的平均直徑是 12,740 公里，赤道周圍一圈的長是 40,075.696 公里。

我們的地球，是太陽系內九大行星之一（九大行星是水、金、地、火、木、土、天王、海王、冥王），一切天體的觀測都由地球上進行，可以說地球就是研究宇宙的一塊基地。地球在空間有自轉，也有公轉。地球每天從西向東自轉一次，自轉的速度在地球上各部分並不相同：赤道地帶是 465 米/秒，緯度 30° 地帶是 403 米/秒，緯度 60° 處是 233 米/秒，在兩極自轉速度為零。

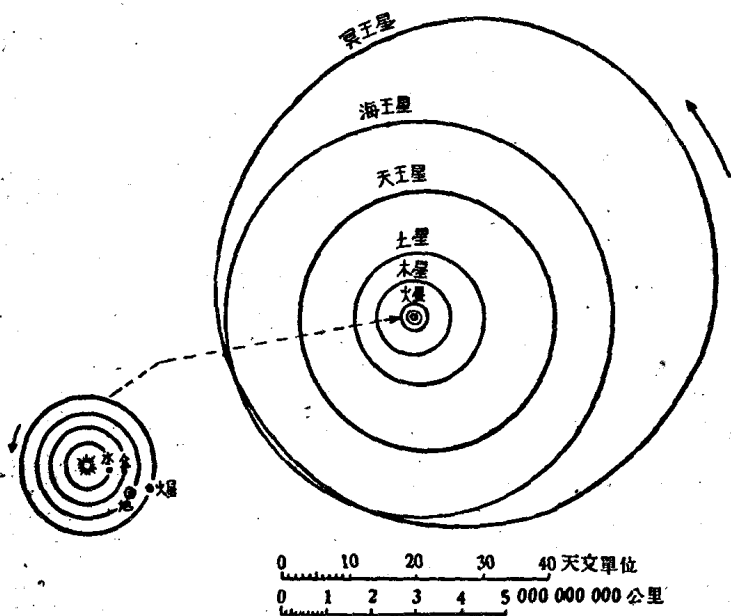


圖 2. 太陽系。

地球每年環繞太陽公轉一次，在軌道上運行的公轉速度是 29.8 公里/秒，或每小時 107,200 公里。

地球距離太陽是很遠的，平均有 14,950 萬公里，相當於地球赤道直徑的 11,720 倍，就是說，日地的距離之間可排列 11,720

个地球。如果坐火箭飞去太阳，以脱离速度 11.2 公里/秒計，即每天飞行 967,680 公里，也要飞行約 154 天。

太阳也是一个大的圆球，体积比地球大很多。太阳的直径是 1,390,600 公里，相当于 109 个地球直径，所以太阳的体积是地球的 1,301,200 倍！因为太阳离开我們太远了，所以在平常看到的它的圆面却好象并不很大。

地球环绕太阳进行公轉并不是自己单独运行的，却是挟同我們地球惟一的自然衛星(月亮)一起前进的。月亮和地球的平均距离是 384,400 公里，比太阳到地球的距离近 390 倍，而月亮的直径是 3,476 公里，比太阳的直径小 400 倍。这两个天体一个大而远，一个小而近，倍数也接近，所以太阳和月亮圆面的視直径我們觉得差不多。也正因为这个緣故，月面正好能把日面全部遮掩，發生日全食的現象。

三 月球表面的概况

月球我国古称太阴，它的表面非常粗糙，具有凹凸不平的多孔性。月上地形反射太阳光所生的复杂的阴影，在地球上以肉眼看来，会很容易联想起种种有趣的形象。在古代，中外都几乎一样有着許多美丽的傳說，我国所为人熟知的，就是“月中丹桂”“月中玉兔”“月里嫦娥”等等。但是現代我們用望远鏡和其他科学仪器实测的結果，証明那里还没有什么动物和高等植物的存在，月面上所具有的景物，大概只有下列 5 类：

(1) 海(或平原)。它是月球表面最明显的黑暗部分，約占月面(可見半球面)的五分之二，伽利略在發現时会命名为“海”，

实际上是沒有水的平原。这些部分較为平坦,各处有極緩的起伏。海的形状全不規則,四周的境界綫凹凸无定。主要的海有 11 个:

表 1. 月面的海

中 名	拉 丁 名	位 置	备 注
危 海	Mare Crisium	月面西北部	480×560公里,面积約202,200方公里
丰富海	Mare Foecundatis	月面西 边	面积約 414,800 方公里
酒 海	Mare Nectaris	丰富海之东	圓形周圍达2,960公里。 面积約 324,075 方公里
静 海	Mare Tranquillitatis	危海之东	
澄 海	Mare Serenitatis	静海的西北	
冷 海	Mare Frigoris	月面北端	1,207×1,079 公里
雨 海	Mare Imbrium	月面的东北角	
暴風洋	Oceanus Procellarum	月面东部的大海	
汽 海	Mare Vaporum	澄海的东南	420×450 公里, 面积約 129,630 方公里
湿 海	Mare Humorum	月面东南,暴風洋之南	
云 海	Mare Nubium	湿海的西邻	

月面最大的海为暴風洋,但因面积过大,边界不很明显。具有显明的边緣的是雨海和澄海,四周都有显著的山脉包圍着。

(2) 寰形山。月面凹凸錯杂的圓形山地称为寰形山。已有記載的寰形山約有 32,000 个,山的直徑大小不一,有些直徑大达一二百公里,形成一圓形谷地。有些寰形山是两个錯叠在一起的,有些寰形山的中心部分常有孤峰峭立。因为月球上沒有大气層,就是有也非常稀薄,所以沒有風雨的剝削,山峰都很尖削。但是中心的孤峰总比它周圍的山环低一些。月面上山的

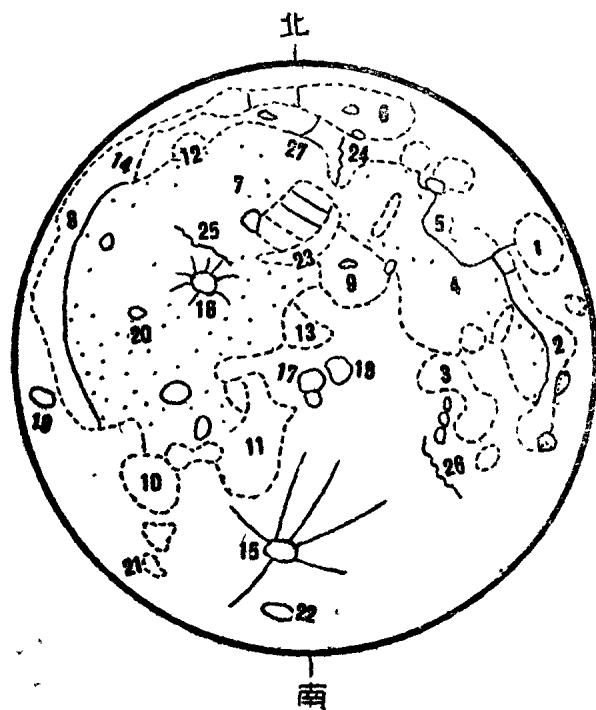


圖 3. 月面簡圖。

- | | | |
|--------|------------|-------------|
| 1. 危海 | 10. 湿海 | 19. 格里馬第塞形山 |
| 2. 丰富海 | 11. 云海 | 20. 克普勒塞形山 |
| 3. 酒海 | 12. 虹灣 | 21. 西卡尔德塞形山 |
| 4. 静海 | 13. 中央湖 | 22. 克拉維塞形山 |
| 5. 澄海 | 14. 露灣 | 23. 亞平宁山脉 |
| 6. 冷海 | 15. 第谷塞形山 | 24. 高加索山脉 |
| 7. 雨海 | 16. 哥白尼塞形山 | 25. 喀尔巴阡山脉 |
| 8. 暴風洋 | 17. 托勒密塞形山 | 26. 阿尔泰山脉 |
| 9. 汽海 | 18. 依巴谷塞形山 | 27. 阿尔卑斯山脉 |

高度可依阳光的影長来測定，得出的結果相当可靠。

(3) 山脉。除了圓谷和寰形山之外，月面上还有嶮峻的山脉和个别的山。它們中有些高度达到 8 公里，相当于月球直徑的 $\frac{1}{434}$ ；月球上的山的相对高度显然是大于地球上的。著名的大山脉，有亞平宁山脉（在雨海邊緣，高 5.6 公里）、高加索山脉（在晴海北边，高 5.6 公里）、阿尔卑斯山脉（在雨海西北边，高 3.6 公里）等。

(4) 亮綫系統。这是月面非常有趣的构成物，常由几个大寰形山（如第谷和哥白尼寰形山）为中心而向四周作輻射状發散出来，成为白色發亮的綫紋，寬約一、二十公里。它們向四面伸張出去，經過山、谷和寰形山而寬度和方向都沒有任何改变。有几条亮綫的長度超过 2,000 公里。

亮綫的性質尚未得出完滿的解答。依苏联天文学家巴拉巴謝夫的意見，可能是月球表面上比其附近表面更碎裂和更多孔的一些区域，并且具有更高的反照率，而不是由幼塵状的物質所构成。

(5) 裂縫。这是月亮上一些暗黑的狹窄的裂縫，寬度不过一、二公里，深度不知道，弯弯曲曲象沟渠，長度有达几百公里的。观察大的裂縫并不需要强大的望远鏡，在放大 40—50 倍时就可以看見了。小裂縫則普通小望远鏡就不容易看到了。

这些裂縫是月球外壳伸張所引起的破裂的結果。

月面上大的寰形山，据研究是由月球的內力（包括火山活动等）所造成的，而小的窟窿，是由于隕星冲击月面之后爆炸而形成的。

月面因为沒有大气層，所以沒有組成水的成分，即使有也很

快的蒸發逃逸了。太阳光直射月面的地区溫度很高，超过水的沸点(+120°C)，待轉到不受阳光直射的时候，月面則因沒有大



气層保温，散热容易，很快冷却，溫度馬上升降到零下160°C。一冷一热的程度相差很大，月面岩石的碎裂程度也就剧烈，生物是不容易在月面生存的。可以说，月球上无异是一个死寂的世界。

四 月球的公轉周期和位相的变化

月球繞地球公轉的时间，視所采取标准点的不同而有差异。由一定恒星起算，繞地球一周复回此恒星位置时所需的时间，叫做恒星月，平均值为 27.32166 日(=27日7时43分11.47秒)。依恒星月的時間來說，它就是月球公轉的真正周期。由此可見月球繞地球每日平均运动約为

$$\frac{360^\circ}{27.32166} = 13^\circ 11'$$

因此，在晴天晚上几小时内連續注意月球和它的背景上任一个亮星的相对位置，便会發現月球在天空上向东移行頗快，每小时所移的距离約等于它視直徑的平均值(31'5'')，即略大于半度。

一天之后，月移行約 $13^{\circ}.2$ 。以一定地点來說，月球經過当地子午圈的时刻总比前一天延迟了約 51 分鐘。

$$\left[\text{因 } 15^{\circ} = 1 \text{ 时}, \frac{13}{15} = 0.86 \text{ 时} = 51 \text{ 分} \right]$$

如以月光面盈亏周期來計算，即从新月(朔)到下一次新月的時間，就叫做朔望月，平均值为 29.53059 日(=29日12时44分2.78秒)，比恒星月長了两天多。月球在一恒星月內，对同一个恒星(如太阳)來說，已回到原来的位置，但这时自地球上看来新月还没有發生。这是由于月行了 27 天，而太阳每天約移行 1 度，所以也东移了 27° ，于是月球要移至合朔的位置(即日、月、地球同一直綫)，必須加上追赶太阳东移的一段時間。月在每天比太阳多行約 $13^{\circ} - 1^{\circ} = 12^{\circ}$ 所以要过 $\frac{27}{12} = 2\frac{1}{4}$ 日才能追上。这 29.53059 日的数值說它是平均值，是因为月球軌道离心率时时变动，这数值常变化可达 13 小时(即加減 6 时許)。朔望月便是我們农历中一个月的長度，是历法中的主要組成單位。

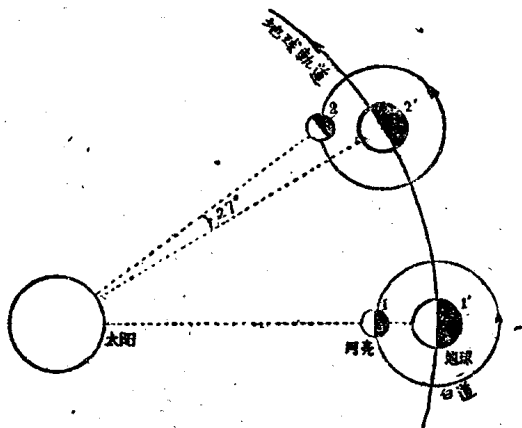


圖 5. 月的公轉周期。

了 27° ，于是月球要移至合朔的位置(即日、月、地球同一直綫)，必須加上追赶太阳东移的一段時間。月在每天比太阳多行約 $13^{\circ} - 1^{\circ} = 12^{\circ}$ 所以要过 $\frac{27}{12} = 2\frac{1}{4}$ 日才能追上。这 29.53059 日的数值說它是平均值，是因为月球軌道离心率时时变动，这数值常变化可达 13 小时(即加減 6 时許)。朔望月便是我們农历中一个月的長度，是历法中的主要組成單位。

在一朔望月中，月的光面有周期性的变化。月球本体是黑暗不透明的球体，它表面反射太阳光的部分如果朝向我們的視

綫，我們才能看得見。由于日、月、地球三个天球的相对位置并不一致，而且时刻变动，在地球上的观测者对于月光面的視綫关系就有不同的角度，因此引起月光面(不要忘記它是一个球面)有圓有缺，或半月、或蛾眉等形象。这就称为月的位相。

月与太阳相合的时候叫做朔，这时月以黑暗半球向地球的晝半球，所以如果从地球上能够見到月面，那将是黑暗的，是为新月(初一)。自朔以后，地球上漸見月光面的部分，日逐扩大，由蛾眉而至半圓，叫做上弦(初七、八)。这时，月与地、日联綫成一直角，月在日之东，它的光面向西，月面的明暗界綫正对地球，所以看来月面明暗各半。上弦之后光面成为凸圓，到月与太阳相冲(即相距 180°)，称为望(十五)。这时，月以光半球正向地球的夜半球，所以看来月光面如一圓盘，是为滿月。

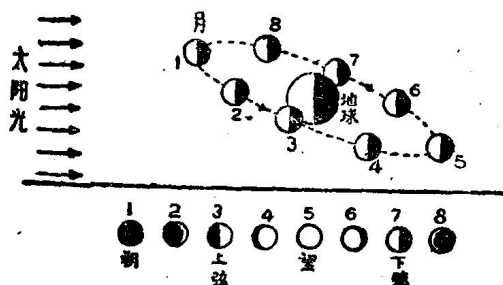


圖 6. 月的位相。

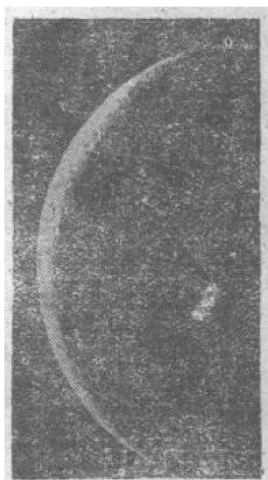


圖 7. 蛾眉月。

自望以后，月面的光明部分日益減縮，再由凸月而至下弦(廿二、三)，月出現于白晝，在太阳的西面，光面朝东。以后光面再減小而成弯月，以至全部黑暗(晦)。月相的变化就是这样周而复始，共历时 29 天多完成一周期。

在光面形成蛾眉月的前后，月球黑暗部分略呈灰光，發生了所謂“新月抱旧月”的現象。这是地球表面反射的光綫造成的，称为地球反照。

月球公轉的周期除了上述两种外，还有下面两种常常应用于日月食的計算中：

(1) 近点月。月球从白道上的近地点出發，运行一周再到近地点的时间，称为 1 近点月，長 27.55455 日(=27 日 13 时 18 分 33.1 秒)。

(2) 交点月。月球从黄白二道交点之一出發再回到同一交点所需的时间，称为 1 交点月，長 27.21222 日(=27 日 5 时 5 分 35.8 秒)。这是因为交点有退行，所以公轉周期变得短了。这个周期对于交食最为重要，所以交点月也称为“食月”。

五 月繞地球运行的規律

月球是跟随着地球运行的一顆衛星，它和地球本身都不發光，而只是反射太陽的光綫。在滿月的时候，月反射太陽光綫所得的光度約为太陽光度的四十七万分之一，所以月光才这样的柔和。月跟着地球以相同的方向自西向东前进。

地球繞着太陽公轉，但是由于我們也在同一个运动中，不覺得自己在移动，却看見太陽在天空上轉移，好象乘火車的旅客只見路旁的树木、電綫杆等景物移动，这就叫做視动。我們就把太陽在天球上周年視动的軌迹称为黃道，黃道也可以說是通过地球公轉軌道而无限扩大而与天球相交所成的一个大圓平面。

月球在天球上所走的路綫叫做白道，它和黃道是傾斜的，交

角平均值为 $5^{\circ}9'$ 。月球繞着地球公轉，而同时地球又携月球繞太阳共同迴轉。如圖 8，月为 L ，地球为 E ，月地系統的公共重心为 O ，設月地同繞公共重心在 O_1 位置开始(此时叫做朔)，月地系統共同繞公共重心沿地軌前进，到 O_5 位置时月已公轉地球一周。由此可見月对太阳的运动曲綫为波浪形。

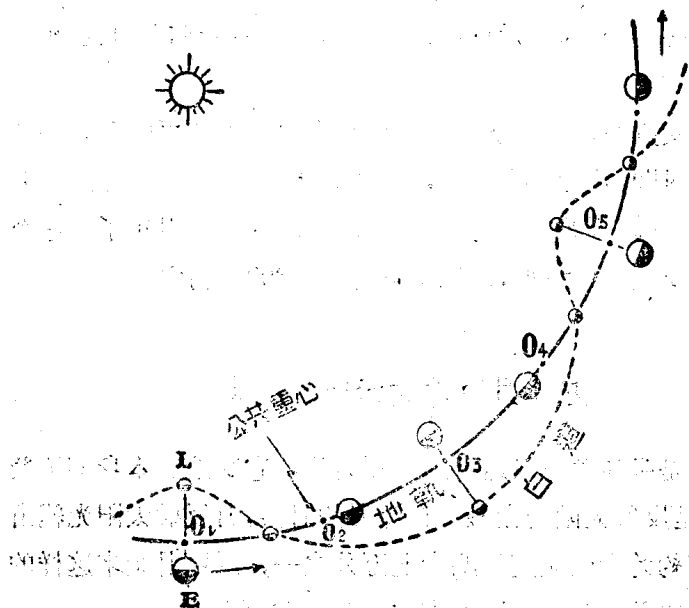


圖 8. 地月系統繞着太阳共同迴轉。

白道既然和黄道傾斜，自然会相交于两点。月球由黄道南向北去所过的交点叫做升交点，和它相对的一点叫做降交点，两点的連綫叫做交点綫。

我們已經知道黄道和赤道的交角是 $23^{\circ}27'$ ，因此赤道和白道的交角即介于：