

内蒙古师范大学附属中学选修课《解密生活中的天文学黑匣子》校本教材

解密生活中的天文学黑匣子

主编 王焕梅

编者：雷俊义、杨宏宇、白玉、史利杰、王香东、张晓芹、  
尹梅梅、赛音都楞、王伟、韩旭、苏叶、宝力日、付彪

立足附中特色，趣味而不失科学地解密生活中常见的天文学现象

# 前 言

天文学是自然科学的基础学科之一，它有着极其悠久的历史，经久不衰的魅力，至今仍在蓬勃发展，是当代科学前沿阵地上非常活跃的一门学科。简单地说，天文学是研究广袤无垠的宇宙中各类天体及其系统的科学，是研究它们的位置、分布、运动、形态、结构、物理状况、化学组成、相互关系及其起源演化的科学。

上世纪 60 年代以前，根据宇宙中各种天体的质量、形态、运动状况等特点，人们把自然界的天体分为恒星、行星、卫星、流星体、彗星等不同种类。60 年代以后，人们利用许多新的观测手段，陆续发现了红外源、射电源、X 射线源、Y 射线源、类星体、脉冲星等各种天体，这些天体都是自然天体。1957 年至今，人们向空间发射了各种人造卫星、宇宙火箭、行星探测器、载人飞船和空间实验室等各种航天器。它们在空中运行，使宇宙中增加了许多人造天体。

由于天文学以遥远的天体作为研究对象，它的主要研究手段便是观测，所以天文学是可观测的科学。诚然，今天人们已经可以飞出了地球，可以对一些行星和卫星进行实地勘测，在上进行某些科学实验；但在一般情况下，还是只能通过接收天体的辐射来寻找解开它们奥秘的钥匙。正因为观测在天文学中占有特殊的地位，因此观测方法的每一次革新，观测工具的任何改进，常常会促使天文学更快地向前发展，甚至引起深刻的革命。

在没有天文仪器的古代，人们只能凭肉眼对天体进行粗略地观测，对天象进行大致地记录，从而在直观上简单区分恒星的不同亮度。那时候，人们不知道恒星的真实距离，天体的实际大小，当然更无法了解其性质、运动规律。

17 世纪初，意大利科学家伽利略首先用望远镜观察天空，他看到了荒凉寂寞的月面上峰峦迭起、木星的大卫星的周期运动、金星的盈亏现象、太阳上的黑子变化、银河中包含的繁星……，这一系列惊人的发现，有力地证明了哥白尼的“日心说”，从而使天文学进入“望远镜天文学”的新时代。可以毫不张地说，像哥伦布发现新大陆一样，伽利略发现了新宇宙。

19 世纪，天文学家开始把测光、分光及照相术运用于天文观测中，这又使天文学发生了一个新的飞跃：诞生出一个新的科学分支——天体物理学。天体物理学通过对天体物理状况、化学组成、内部结构及其演化规律的研究，使人类对天体的认识、对宇宙的认识又大大向前迈进了一步。

第二次世界大战后发展起来的射电望远镜使人们突破了可见光的界限，摆脱了地球大气及气候的影响。随着新型的大射电望远镜的问世，新的重大发现接踵而来，仅 60 年代就有脉冲星、星际有机分子、类星体及 3 开微波背景辐射等四大发现，这些重大成果极大地推动了现代天文学的迅速发展。人造卫星上天后，进入了全波天文学时代，获得了更加丰富的资料。随着航天飞船的发射，人们不仅六次降临月球，对它进行实地科学研究，空间探测器还降落于金星和火星表面。大规模的空间探测迫使天文学教科书一再修改：金星决不是地球的“孪生姐妹”、火星上没有运河、木星竟是个液体行星……。

天文学的每项新发现，总会使哲学家们丰富他们的思维，对客观规律赋以新的论证。天文学的成就也促进了整个科学的发展。它的意义就在于：推动人们运用当前各门科学的成就来解释新的天文发现，深化对客观世界的认识，并且尝试改造世界。

内蒙古师范大学附属中学天文台建成于 2017 年 5 月，坐落于实验楼顶楼，水晶造型天文台，直径 7 米，可同时容纳 30 人观测。圆形造型可保护天文设备不受外界天气

的干扰。天文馆球体可做到 360° 旋转，方便不同角度观测。顶部天窗采用全封闭的链式传动，有良好的防风防雨的作用。馆内配备有大小两台准天文级大口径望远镜。大望远镜为施密特-卡塞格林折反射天文望远镜 (KN-410mm 型)，主镜光学系统最大放大倍率 3000 倍，小望远镜为折反射式天文望远镜 (KN-230 型)，物镜最大放大倍率为 1500 倍，大望远镜固定在馆内，小望远镜可移动至室外进行观测。白天可对太阳做投影观测，夜间可以看到月球表面的环形山、金星、木星、土星等天体。该仪器采用微电脑控制，配有 GPS 全球定位系统。

附中天文台作为呼和浩特市甚至内蒙古自治区最为先进的天文台，依托大学资源，为附中师生开展相关活动提供了极大的便利。天文台可观测实际星空，开展天文兴趣小组活动等，能够将浩瀚无垠的宇宙魅力展现在我们面前，使学生对天文学的历史与发展、宇宙中波澜壮阔的物质活动、天体的来龙去脉及光辉未来有较为全面系统的认识。可使学生较早接触光学精密仪器、自动控制等现代技术，对老师培养学生的观察能力、动手能力和科学素养有重要作用。

《解密生活中的天文学黑匣子》乡土地理教材借着内蒙古师范大学附属中学六十五周年校庆的春风向读者迎面走来。本教材也在遵循着附中“为学生可持续发展和一生幸福奠基”的教育理念不断砥砺前行。教材是基于附中具体而又特殊的校情编撰出来，又应用于附中地理教师和学生，同时教材搭配日常天文学选修课的课程，形成了优质、特色的乡土地理资源。

《解密生活中的天文学黑匣子》教材无疑会是附中地理教研组老中青三代教师和选修天文学入门课程的学生集体智慧的结晶。在专著编撰前期，师生收集相关资料，努力开发学校的资源；在教材编写过程中，附中地理组的全体教师精诚合作，从细微之处出发，创新内容与形式，迸发出思维的火花。编写具体分工如下：王焕梅负责统筹教材编写；付彪负责具体实施工作，第一章至第五章的内容由付彪编写；第六章的内容由王伟执笔；韩旭负责教材的“趣味窗”模块的补充说明；宝力日负责文字校对；雷俊义、白玉、杨宏宇、史利杰、王香东、张晓芹、尹梅梅、赛音都楞、苏叶负责审核和校稿工作。

东北师范大学地理科学学院赵红艳副教授对《解密生活中的天文学黑匣子》主讲人付彪在天文学领域的启蒙起到了关键作用，教材中的一些体系和方法也深得东北师范大学物理学院崔士举老师所授《天文学入门》课程的影响。同时，教材也大量学习和借鉴了当代天文学权威——福建师范大学余明教授的《地球概论》的思想和内容，在这里编者一一表示感谢。由于编者水平有限，所需要整理的内容繁多，再加上整个编写过程周期较短，难免有些纰漏，敬请读者朋友批评指正。

不可否认的是，地理校本教材的撰写工作是附中应对未来地理新课程改革迈出的睿智而又前瞻性的步伐，对于未来课程改革后附中地理选修《天文学基础》打下了良好的基础，从而对未来全区地理课程改革具有引领性作用。

己亥猪年农历七月编者于青城

## 目录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 前 言 .....                 | 2  |
| 第一章 浩瀚宇宙与人类家园 .....       | 5  |
| 第一节 漫话宇宙与太阳系中的绿洲 .....    | 5  |
| 第二节 大爆炸宇宙学 .....          | 13 |
| 第三节 宇宙的中心——从地心说到无心说 ..... | 15 |
| 第二章 恒星演化与星座识别 .....       | 19 |
| 第一节 恒星演化 .....            | 19 |
| 第二节 星座识别 .....            | 34 |
| 第三章 地球自公转与日月地关系 .....     | 47 |
| 第一节 地球自公转证明及规律 .....      | 47 |
| 第二节 日月地关系 .....           | 53 |
| 第四章 月相、日月食和潮汐与人类 .....    | 57 |
| 第一节 月相与日月食 .....          | 57 |
| 第二节 潮汐与人类 .....           | 62 |
| 第五章 话说时间与历法奥秘 .....       | 65 |
| 第一节 历法的种类 .....           | 65 |
| 第二节 历法的评价 .....           | 71 |
| 第六章 天文观测实操训练 .....        | 73 |
| 第一节 关于天文望远镜 .....         | 73 |
| 第二节 常见天体及天文现象的观测 .....    | 76 |
| 参考文献 .....                | 83 |

# 第一章 浩瀚宇宙与人类家园

## 第一节 漫话宇宙与太阳系中的绿洲

### 一、漫话宇宙

我们的学习思路是遵循一个从小到大的原则，先学习天体是什么，然后再学习天体系统以及各级的天体系统，最后学习宇宙及相关。宇宙中的物质的存在形式统称为天体，天体具有时空性、物质性和运动性三个特征，物质性是指任何物体都是由物质组成的；运动性是天体是不断运动的；时空性是指天体是空间与时间的结合，空间能替换时间，而随着时间的变化，空间也在不断的变化。

天体可以分为自然天体和人造天体，自然天体是自然形成的，宇宙本身就存在的。而对于人造天体，是在 1957 年人造卫星上天以后才有的天体，包括现有的人造卫星、宇航器、宇宙飞船和空间站等，虽然有的人造天体已瓦解，失去设计时的功能，但每一块小碎片（宇宙垃圾）仍然是人造天体，据估计，当前运行在宇宙空间的人造天体已有上万个，为避免碰撞，目前一些国家已开展对他们的监测。

### 趣味窗—天体的判断

判断某一东西是不是天体，主要是看三个方面。第一，是不是由物质组成的，像风、雷、闪电都不属于天体；第二，是不是在大气层之外，未发射的宇宙飞船并不属于天体；第三是不是有独立的运行轨道，像地球上的人、月球上的月球车都不属于天体。

自然天体，包括恒星、行星、卫星、星云、流星、彗星和其他星级物质。恒星是由炽热的气体组成的，自己可以发光发热，主要的成分是氢和氦，太阳就是一颗典型的恒星；星云，质量和体积都很大，是由气体和尘埃组成的，它拥有着云雾状的外貌，有些恒星也组成了星云，恒心的核聚变反应是宇宙化学元素形成的炼丹炉，通过核聚变宇宙化学元素不断形成，从氢到氦，再到碳，再到氮、氧、铁等各种元素由此形成；行星是在椭圆轨道上环绕恒星运行的，质量比恒星小的

多，本身不发光，而靠反射恒星的光而发亮，如地球就是一颗典型的行星。我们经常说的“长庚星”和“启明星”就是金星，其实就是金星反射了太阳的光被我们地球上的人所看到；环绕行星运转的天体叫做卫星，月球是地球唯一的天然卫星。

### 趣味窗—冥王星被“退群”

当今公认，太阳系有八大行星，而原本属于九大行星的冥王星，因为没有足够的质量来清除其附近区域的天体，而被降级为矮行星，退出八大行星的序列。

### 趣味窗——不羁的哈雷

哈雷彗星是人类首颗有记录的周期彗星，最迟在西元前 240 年，或西元前 466 年，在中国、古巴比伦、和中世纪的欧洲都有这颗彗星出现的清楚纪录，但是当时并不知道这是同一颗彗星的再出现。据朱文鑫考证：自秦始皇七年（公元前 240 年）到清宣统二年（1910 年）共有 29 次记录，并符合计算结果。

哈雷彗星是唯一能用肉眼直接从地球看见的短周期彗星，也是人一生中唯一可能以肉眼看见两次的彗星。其它能以肉眼看见的彗星可能会更壮观和更美丽，但那些都是数千年才会出现一次的彗星。哈雷彗星的表面主要是布满尘土的，没有挥发性物质，并且只有小部分是冰。哈雷彗星上一次回归是在 1986 年，而下一次回归将在 2061 年中。在 1986 年回归时，哈雷彗星成为第一颗被太空船详细观察的彗星，提供了第一手的彗核结构与彗发和彗尾形成机制的资料。这些观测支持一些长期以来有关彗星结构的假设，特别是弗雷德·惠普的“脏雪球”模型，正确地推测哈雷彗星是挥发性冰—像是水、二氧化碳、和氨—和尘埃的混合物。

既然天体是在不断运动着，那太空中的天体这么多，在太空中运动会不会经常性的发生交通事故？我们答案是不会，假设经常发生碰撞，地球早已灭亡，究其主要原因是天体的质量和体积不同，所以会相互吸引，并且进行着有规律的绕转，而且有自己特定的轨道，使得相互碰撞的几率小了许多。天体系统主要有四个层次：地月系和其他行星系组成的太阳系，太阳系和其他恒星系组成了银河系，银河系和河外星系组成了总星系，通常认为总星系是我目前人类能观测到的可见宇宙部分（如图 1-1）。



图 1-1 天体系统的四个层次

对于宇宙的含义，哲学上和天文学上的有不同的定义。哲学上的宇宙强调“天地四方为宇，古往今来为宙”，认为宇宙是时间和空间的集合，宇宙是无限的，空间与时间也是无限的。而科学上的宇宙是有边有际的，一般认为，宇宙是从大爆炸形成的，宇宙是在不断膨胀的，因此宇宙自然而然在时间上有起源，空间上有边界。

### 趣味窗-人类对宇宙的认识历程

人类对宇宙的认识经历了以下六个阶段：第一个阶段：天圆地方。“天圆地方”是古代科学对宇宙的认识，古代汉族人民在认识宇宙的过程中主要方法和现代科学的实证完全不同，“内证”是古人认识宇宙的主要方法，该认知更多的强调是阴阳五行的体系。而这种方法是按照人体生命一定的能量循环模式，不断加强人体自身的能量，从而达到超越普通大众的感知能力。

第二个阶段：地心说。“地心说”最初由米利都学派形成的初步理念，后由古希腊学者欧多克斯提出，然后经亚里士多德、托勒密进一步发展而逐渐建立和完善起来。托勒密认为地球处于宇宙中心静止不动，从地球由里向外一直有月球、

水星、金星、太阳、火星、木星和土星在各自的轨道上绕地球运转。

第三个阶段：日心说。哥白尼提出的“日心说”有力的打破了长期以来居于宗教统治地位的“地心说”，实现了天文学的根本变革。

第四阶段：宇宙无限说。宇宙在时间上是无限的，时间是物质存在的一种客观形式，由过去、现在和将来构成连续系统是物质运动变化的连续性表现，物质也不会凭空产生，也不会凭空消失，它是无始无终存在着。而时间作为物质的客观存在方式以及物质运动变化的连续性表现，必然与物质一起，无始无终的存在着，这就是说宇宙在时间上是无始无终的。

第五阶段：相对论。时空可变。相对论极大的改变了人类对宇宙和自然的常识性观念，提出了“同时的相对性”、“四维时空”、“弯曲时空”等全新概念。

第六阶段：宇宙大爆炸学说。“大爆炸宇宙论”是现代宇宙学中最有影响的一种学说，他的主要观点是认为宇宙曾有一段从热到冷的演化史，在这个时期里宇宙体系在不断的膨胀，使物质密度从密到稀的演化，如同一次规模巨大的爆炸。

晴朗的夜晚，当你抬头仰望星空，可以看到天穹上有一条相当宽的白茫茫的光带，这就是人们常说的银河。实际上，银河就是银河系在天球上的投影，这条光带就是我们置身其内，侧视银河系时在可见光波段所看到的、布满星星的圆面——银盘的投影。我国古人称它为“天河”或“银河”或“星河”等，欧洲人则称它为“乳白色的道路”。

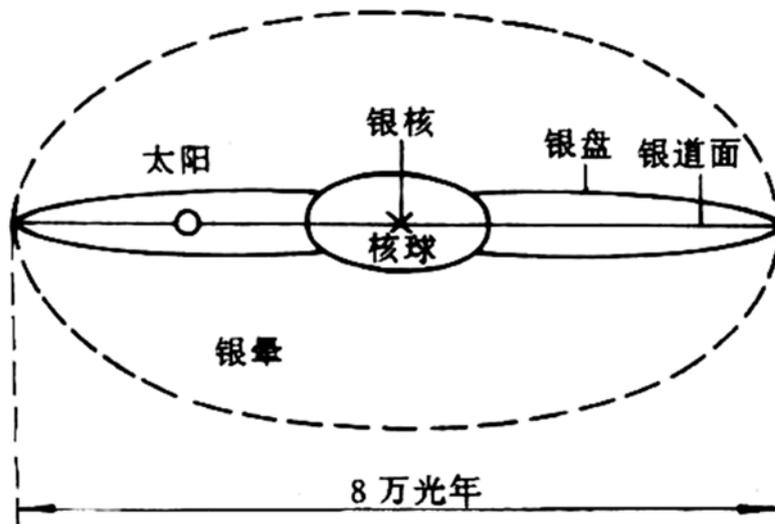


图 1-2 银河系的结构图

人们若用一架小望远镜来观测银河，就可以看出它是由许许多多的恒星所组成的，只是由于距离太远而无法用肉眼辨认出来。由于星光与星际尘埃混合在一起，因此银河系看起来就像一条烟雾笼罩着的光带。人们对银河系结构常描述为一个中央凸起（称核球）的偏平薄盘（称银盘），呈类透镜星系或旋涡星系，现代有人提出称为棒旋星系。

#### 1. 银盘

银河系的物质，主要是恒星，在可见光波段获悉，密集部分组成一个圆盘，称为银盘。银盘的中心平面投影到天球上叫银道面，银盘中心隆起的部分叫银河系核球。

#### 2. 银晕

银盘外面是一个范围广大、近似球状分布的系统，称为银晕。

#### 3. 银核

银河系核球的中心部分是一个不大的致密区，称为银核。银核为扁球形，银核中心处又有一更小的核中之核，称为内核心或银心。银核能发出强射电辐射、红外辐射、X射线和 $\gamma$ 射线。

#### 4. 旋臂

银盘中有旋臂，这是盘内气体尘埃和年轻恒星集中的地方。观测发现，大量的恒星和星际弥漫物质都高度集中在旋臂上。据研究，太阳附近有一条旋臂称猎户臂，在猎户臂之外，还有一条英仙臂，包括著名的英仙座双星团。在银心方向有一条人马臂。



图 1-3 银河系俯视图

## 趣味窗-银河系旋臂对地球大冰期成因的影响

关于大冰期的成因，有各种不同的假设和理论。归纳起来大致有外部因素和内部因素两类。外部因素主要是天文方面的因素，内部因素是地球本身的变化。

用太阳系在银河系中运行造成的地球轨道扩张来解释冰期的成因。可以想象，当太阳运行到轨道上的近银心点附近时，将沉入银河系的深部，那里的天体比较密集，由于互相挤压，整个太阳系就会收缩，日地距离就会减少，地球上所得太阳辐射热能就会增加，地球上就会升温，出现温暖期；当太阳运行到轨道上的远银心点附近时，太阳系又浮到银河系的浅层，那里天体比较稀疏，整个太阳系就会因周围挤压力减少而扩张，日地距离就会加大，地球上所得太阳辐射热能就会减少，地球上就会降温，形成寒冷期，这也就是大冰期。有人认为，地球上至少曾出现的过三次大冰期都与银河系天体运动有关。若试图把冰期归因于地球轨道的扩张所造成，可以解释：地球轨道的扩张是太阳系在运行到离银心较远的部位，太阳绕银心公转的周期是 2.5~3 亿年，在一个周期中，太阳系远离银心一次，可形成一次大冰期，而地球上已经发生的三次大冰期——震旦纪大冰期、晚古生代大冰期和第四纪大冰期的间隔也正好是 2.5~3 亿年，两者吻合。

可以推测，地球上发生第四纪大冰期时，太阳系正处在远离银心的路程上，即从整体来看地球轨道正处在扩张的时期。或是说，太阳离银心约 3 万光年的距离差不多是离银心最远的距离。再过几千万年，太阳至银心的距离就不会这么远。我们现在又处在第四纪大冰期的间冰期，这次间冰期大概是 1 万年前开始的，这 1 万年称为冰后期，人类文明就是在这冰后期诞生的，由此推测，我们的太阳系正处在远离银心的天体密集区，事实正是如此，太阳系正处在猎户臂的边缘。由此推测，这次间冰期还要经历十几万至几十万年的时间，等太阳系走出猎户臂时，新的亚冰期又降临了。

太阳绕银心运行一周需 2.5~3 亿年，在远离银心的那段路程上大致要走几百万年至上千万年，这与一次大冰期所经历的时间也是吻合的。

## 二、太阳系中的绿洲—地球

地球是人类的家园，它是太阳系的一颗普通行星，按照太阳系距日远近的顺序，它是第三颗行星。从1968年宇宙飞船在36000km高空拍摄了第一张显示地球完整面貌的照片以来，人类对地球在宇宙中位置有了新的认识。从宇宙飞船上看到的地球悬在空中，是一个大气包裹着的蓝色星球。



图 1-4 地球在太阳系的位置图

就大小和质量而言，地球在太阳系大行星中是很不显眼的。虽然还有大行星比地球小，但和木星和土星相比，它就小得多了。然而，在八大行星中，地球是太阳系中唯一有生命的星球，这与地球在太阳系中所具有一些独特的优越条件有关，尤其是地球与太阳的距离和质量搭配恰到好处，这也与地球有比较安定的宇宙环境息息相关。具体分析如下：

第一，地球与太阳的距离适中，加上自转与公转周期适当，使得地球能接收适量的太阳辐射。整个地球表面平均温度约为 $15^{\circ}\text{C}$ ，适于万物生长，而且能使水在大范围内保持液态，形成水圈，这是生命存在所必需的条件。水星和金星离太阳太近，它们接受的辐射能分别为地球的6.7倍和1.9倍，表面温度很高。而距太阳较远的木星和土星所获得的太阳能仅为地球的40%和1%。更远的天王星和海王星所接收的太阳辐射就更微弱了，它们表面的温度都在零下二百多度。显然，除了地球之外的其他行星，因表面温度过高或过低，都不利于生命的形成和发展。只有地球表面具有适宜的温度，成为孕育生命和繁衍生命的场所。

第二，地球的质量较合适。地球与行星的质量比较，地球质量虽不大，但密度较大，由重元素组成，具有一层坚硬的岩石外壳，能贮存液态水。岩石上层经风化，发育形成土壤层，能为动植物的生长发育提供良好的基地。其它类地行星

虽然也有固态的外壳。但没有液态水贮存其上，同时由于其上的温度过高或过低，水汽含量很少。这样的环境，高等动植物是无法生存的。

第三，在地球引力作用下，大量气体聚集在地球周围，形成包围地球的大气层。大气层对地面的物理状况和生态环境有决定性影响。而水星的质量只有地球的1/8，即使它在形成初期有大气，但由于引力小，空气分子的运动速度超过了它的逃逸速度，气体都逸散了。由于没有大气，故即使有水，也会蒸发成水汽，并逐渐逃逸掉。地球的大气经过长期的演化，现代大气主要成分是氮和氧，与早期的大气成分截然不同。而金星和火星的大气主要成分是二氧化碳，巨行星和远日行星的大气主要成分是氢、氦、氨和有毒的甲烷。地球的大气除了提供生物呼吸的氧外，还能调节地表温度。大气的循环使地面获得大范围的降水。大气还能保护地面不受陨星的直接撞击、使地球所处的宇宙环境相对比较安全。

第四，地球大气中含氧丰富，高空氧在太阳紫外线作用下形成臭氧层，臭氧层能抵挡太阳紫外辐射，使之不能到达或较少到达地表。这在八大行星中也是少有的。

第五，地球有磁场。地球磁场在太阳风的作用下形成了磁层，且对太阳风带来的高能粒子具有阻挡及捕获作用，使地球上的有机体免受或少受侵害。而太阳系中的其他“类地行星”磁场或弱或无，“类木行星”磁场较强。

第六，地球是大行星中唯一发生板块构造运动的星体。在这样的过程中，岩石圈的物质循环与造山运动使得地球上的各类循环得以保证。

第七，在月地系统中，月球对地球旋转轴的倾斜度起着稳定作用，有人认为这也是目前地球上允许生命存在的重要因素之一。

综上所述，在太阳系大行星中，只有地球才具备为生命的形成和发展所必须的自然条件。有了地球表面形成的岩石圈、大气圈和水圈，无机质才逐渐转化为有机质，进而演化成原始生命，原始生命经过长期演化，又发展形成庞大的生物圈，这四个圈层互相作用，互相制约，组成一个复杂的自然综合体，这是其他行星所没有的。所以我们说，地球携带了生物所需的一切物质，地球是人类的摇篮。地球是太阳系中一个既普通又特殊的行星，它是太阳系的绿洲。

## 趣味窗—2019年的第一场流星雨

同学们，每年1月第一周，地球都会短暂地遭遇流星雨，这场流星雨我们叫做象限仪座流星雨，尤其是早上5、6点的时候，你有机会每小时看到十几颗甚至几十颗的流星。虽然不如之前双子座流星雨最大的时候每小时超过100颗流星的数量，但也不失为一个惊喜哦！而要是你不满意的话，你还可以等待更大的流星雨，比如每年8月中旬的英仙座流星雨，而每年11月的狮子座流星雨，则称为是“流星雨之王”。因为极大的时候每小时有上千颗的流星，那个时候，它又被叫做是流星暴雨呢！

## 第二节 大爆炸宇宙学

对于宇宙的起源，目前没有一致的看法，最流行的学说是大爆炸宇宙理论。

1927年以后，比利时天文学家勒梅特提出了一个大胆而明确的概念，认为“空间要随时间而膨胀”，该理论继承了爱因斯坦宇宙方程的动态意义以及弗里德曼的奇点论。他认为有一种密度无限大的状态的可能性，并因膨胀而转化为各种密度较低的状态。由于空间是按照宇宙间物质的量而弯曲的，这会导致两种不同的结果。其一，如果物质的量少于某个临界数值，则膨胀将会永远继续下去，星系团就会彼此越离越远，这时宇宙是“开放的”；其二，如果物质的量大于这个临界数值，那么引力就十分强大，足以使空间弯曲到这样的地步：先是使膨胀停止下来，继而又使之转变为坍缩，于是宇宙又重新回复到超密状态，这样的宇宙称为“闭合的”。

宇宙膨胀理论的提出，大大改变了传统的宇宙静态观，星系退行可看作大尺度天区上具有的特征。因此，谱线红移的发现在认识大宇宙中起了一个促进作用，也可以说它促进了新宇宙学的诞生。在宇宙膨胀论的基础上，结合一些其它观测资料，科学工作者提出了各种各样的现代宇宙学，其中最有影响的就是大爆炸宇宙学，与其它宇宙模型相比，它能说明较多的观测事实。大爆炸宇宙学的主要观点认为，宇宙有一段从热到冷的演化史，这一温度从热到冷、密度从密到稀的演化过程，如同一次规模巨大的爆炸。按照大爆炸宇宙论，宇宙的演化大致如下：

宇宙开始于一次爆炸。在初期，温度极高，密度极高，整个范围达到热平衡，

物质成分即由平衡条件而定，由于不断膨胀，辐射温度及密度都按比例地降低，物质成分也随之变化。温度降到 10 亿 K 左右时，中子失去自由存在的条件，与质子结合成重氢，氦等元素。当温度低于 100 万 K 之后，形成元素的过程也结束了，这时的物质状态是质子、电子以及一些轻原子核构成的等离子体，并与辐射之间有较强的耦合，从而达到平衡。以后继续冷却，到 4000K 左右，等离子体复合而变成通常的气体，与辐射的耦合大大减弱。从此，热辐射便很少受到物质的吸收或散射，自由地在空间传播。进一步地膨胀使辐射温度再度下降，气态物质开始形成星系或星系团，最后形成恒星，演化成为人们今天所看到的宇宙。

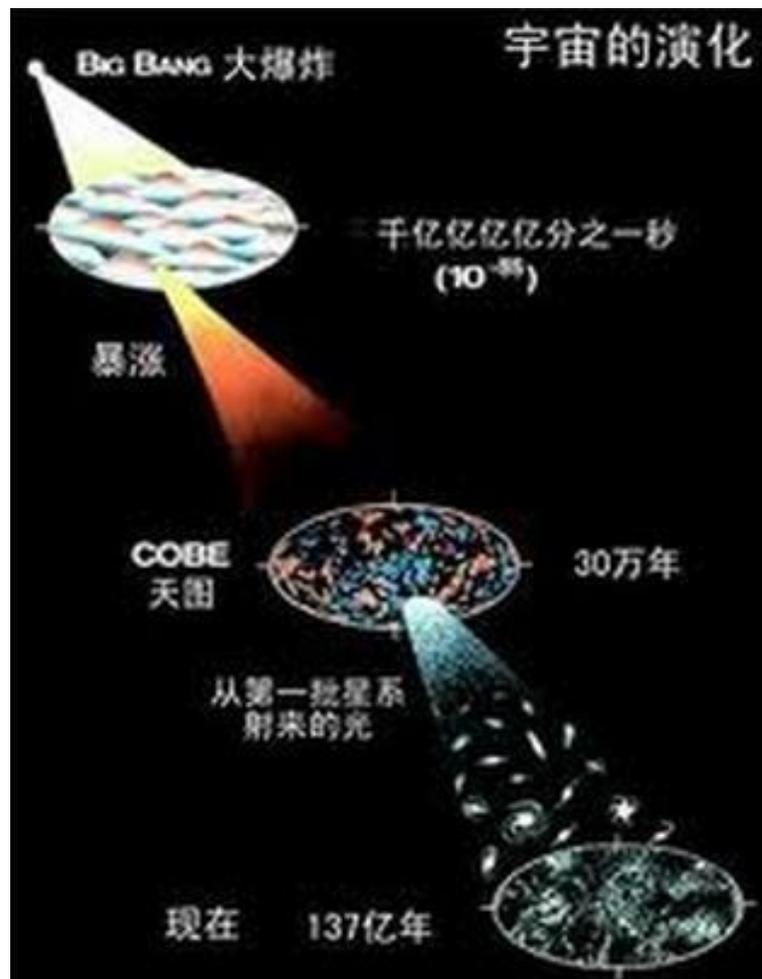


图 1-5 宇宙演化示意图

宇宙大爆炸是一种学说，是根据天文观测研究后得到的一种设想。大约在 150 亿年前，宇宙所有的物质都高度密集在一点，有着极高的温度，因而发生了巨大的爆炸。大爆炸以后，物质开始向外大膨胀，就形成了今天我们看到的宇宙。天文学家利用背景辐射温度、宇宙年龄和红移规律建立“温度—时间—红移”关

系式，并以时间来追随宇宙简史。然而，宇宙演化史是非常复杂的，有人把宇宙的时间演化大体分为三个阶段：

第一阶段：宇宙大爆炸后 10—43s 时期的宇宙，也称普朗克时代。

第二阶段：大爆炸后 30 万年，暴胀到膨胀的宇宙（这个时期发出宇宙微波背景辐射）。

第三阶段：宇宙不断膨胀，恒星、星系、星系团逐渐形成阶段。

大爆炸模型能统一地解释以下几个观测事实：

第一个证据是大爆炸理论主张所有恒星都是在温度下降后产生的，因而任何天体的年龄都应比温度下降到今天这一段时间都短，即应小于 200 亿年。各种天体年龄的测量证明了这一点。第二个证据是观测到河外天体有系统性的谱线位移，而且红移与距离大体呈正比。如果用多普勒效应来解释，那么红移就是宇宙膨胀的反映。

### 趣味窗—多普勒效应与红移

多普勒效应不仅可以应用于运动物体和声波变化的关系，而且还可以应用于光波的性质，我们知道，物体的声波波长与频率成反比，波长越长，频率越小，这一结论在生活中也比较常见：当一辆车迎面驶来时，波长被压缩，波长变得很短，听到的声音比原来高；离去时，波长被放大，波长变长，则听到的声音比原来低。相对应的，在可见光光谱中，红光波长长，紫光波长最短，如果一个光源远离观测者而去，那么就会发生红移，如果光源是朝向观测者移动，就会发生蓝移。宇宙膨胀的速度越快，某一观测天体离观测者运动速度越快，红移的量越大。

## 第三节 宇宙的中心—从地心说到无心说

### 一、地心说

我们知道根据常识，现代人类已经明确了大地是球形的这一结论，主要包括站在太空上直观观看、麦哲伦的环球航海、以及先看到远处向岸的船的船杆，后

看到船身。而最初古希腊学者毕达哥斯拉斯认为，大地与天体都是球形的，之后亚里士多德根据月偏食时大地在月亮上的圆形阴影证明了大地是球形的，此观点被观测天文学家托勒密完全接受。

亚里士多德的“地心说”认为宇宙是一个有限的球体，分为天地两层，地球位于宇宙的中心，所以日月围绕地球运行，物体总是落向地面，地球之外有九个等距天层，此外空无一物，上帝推动了恒星天层，才带动了所有天层的运动，人类居住的地球则渐渐的屹立在宇宙中心，宇宙有九重天，依次是月亮天、水星天、金星天、太阳、火星天、木星天、土星天、恒星天和原动天，地球坐落在宇宙中心。



图 1-6 托勒密的“九重天”模型

但是九重天理论有着极大的缺陷：九重天并不是等距的，而且观测到的月亮时大时小，最为致命的是，通过观测可以发现，火星相对于地球来说都是正在逆行的。图表示在一段时间内，每天对火星拍照之后合成出来的图片很容易看到火星会在天上开倒车（天文学上称之为逆行），显然这是地心说所不能解释的。而地心说的支持者为了解释这一问题，提出了本轮和均轮的模型，认为行

星在绕圆轨道做匀速运动的时候，还在绕着均轮运动。



图 1-7 火星逆行

地心说长时间占主导的原因是，第一个方面，天体绕着某一中心的圆角速运动，符合亚里士多德的物理学易于被人接受，第二个方面，用几种圆周轨道不同的组合解释预言了行星的运动位置，解释了行星的亮度变化，这与实际相差很小。相比以前的体系有所改进，第三个方面地球不动的说法对当时人们的生活是令人安慰的，假设也符合基督教信仰。

一些科学家修正了托勒密的宇宙轨道学说，在原有的轨道上又增加了更多的天体运行轨道正义模式，称每颗行星都沿着一个小轨道做圆周运动，而小轨道又沿着该行线的大轨道绕地球做圆周运动，几百年之后这一模式的漏洞越来越明显，科学家们又在这个模式上增加了许多轨道行星，就这样沿着一道又一道的轨道做圆周运动。

## 二、日心说

16 世纪，波兰天文学家哥白尼依据大量精确的观测资料，出版了《天体运行论》一书，并且建立了“日心说”宇宙体系学说，哥白尼认为太阳是宇宙的中心，地球和行星是绕太阳转动的。哥白尼的日心说认为，太阳是宇宙中心，行星围绕着太阳运转，地球作为一颗行星绕着太阳运转，它本身还在自转，周期为 24 小

时。月亮是地球的卫星，地球带着月亮一起绕太阳运转，行星在太阳系中排列的顺序是：水星，金星，地球，火星，木星，土星。

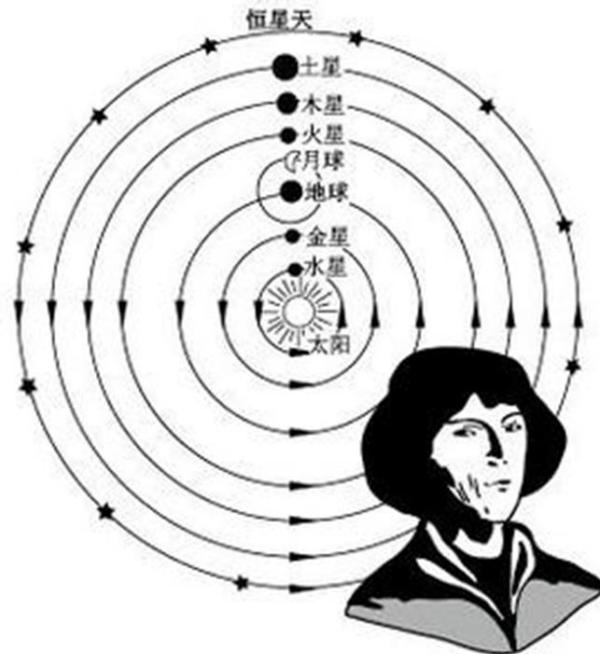


图 1-8 哥白尼与他的地心说

当然日心说作为一个学说，也有一定的时代狭隘性，在证明地球是围绕太阳转的同时也有着错误，主要体现在以下四个方面：第一个方面，太阳并非宇宙中心，而是太阳系的中心；第二个方面，地球并非引力的中心；第三个方面，太空中看到任何运动不全是地球运动引起的；第四个方面，地球和其他行星的运行轨道是椭圆而不做圆周运动。由于这些错误的存在，日心说只能算是学说而较地心说好一些，它证明了地球是围绕太阳进行公转，也引起了人类对宇宙认识的巨大变革和思想变革。

日心说可以很容易的解释行星逆行现象，而且日心说预言了恒星的视差，并且成功的被证实，日心说对于太阳系内的天体的位置预言更为准确，比如说 19 世纪海王星的发现，日食月食的预报方面也十分精确，正是基于以上观点日心说才成为今天的主流学说，并且被写入教科书。

## 第二章 恒星演化与星座识别

### 第一节 恒星演化

#### 一、恒星的基本特征

恒星是宇宙中最重要最有趣的天体。人类对恒星的遐想从古代早已开始，通过对恒星太阳的长期观测中，已经获得了大量的资料，这些观测资料在研究恒星的结构和演化过程当中起到了非常重要的作用，为人类寻找地外文明提供线索。恒星并非不动，只是因为它们距离地球很远，人类如果不借助特殊工具和方法，很难发现他们在天空中的位置的变化。如半人马  $\alpha$ （中文名南门三），距离地球 4.22 光年，这个距离十分遥远，这是个什么样的概念呢？我们所看到的半人马  $\alpha$  的光是其 4.22 年前发出的。

#### 趣味窗—恒星大观园

20 世纪天文学最重大成就----认识恒星的诞生、成长、死亡 —赫罗图——

能源——重元素产生

恒星并非“恒定不动”

恒星----五颜六色反映温度有高有低

恒星大小不一，质量不等：“巨人”和“侏儒”——胖织女与瘦牛郎

成双成对的星----双星和聚星

恒星的爆发----新星和超新星

恒星集团----星团

星际花园----星云

恒星是由炽热的气体组成仅仅是恒星的外部结构，如太阳的大气结构。恒星的内部是由致密的物质组成，恒星会发光，但恒星并非一生都发光，恒星的发光只是恒星演化史某个阶段的现象，恒星什么时候发光以及发什么样的光，都和其质量与体积有莫大的关系，我们会在接下来的章节中系统学习。

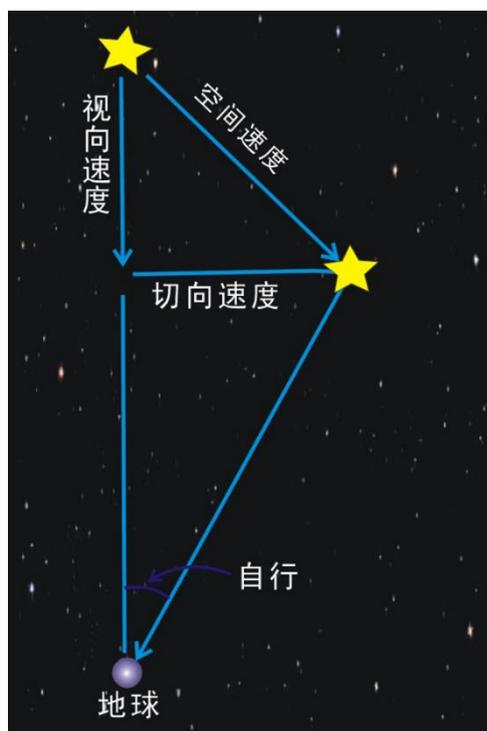


图 2-1 恒星的空間速度及其两个分量

恒星的“自行”是我们必须要掌握的一个内容。我们假设恒星在不断运动，事实上它在天球上的运动与它实际的运动的方向与速度有明显的差异，恒星的空間速度实际上是恒星的横向速度与切向速度合成的，切向速度也叫恒星的自行（角速度）。如图 2-1，在视向速度中离地球的观测者远去为负，反之为正，视向速度可以通过多普勒效应（红移和紫移的量进行推测），而切向速度可以通过以地球为中心，该恒星在天球背景上所走的角度来确定。恒星的自行速度一般都小于每年  $0.1''$ ，迄今只发现有 400 余颗恒星的自行超过每年  $1''$ 。如图 2-2，北斗七星的自行及形状变化。北斗从图中可以看出来，北斗七星一直在不断的自行，形状也在发生着多样化的变化。

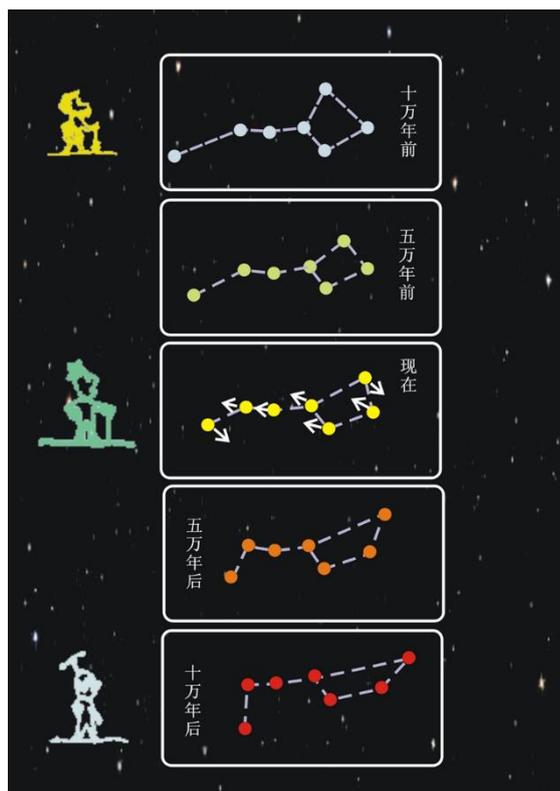


图 2-2 北斗七星的自行及形状变化

### 1. 恒星的亮度及星等

我们知道，作为观测者站在地球上，可以观测到恒星的一些信息，如颜色，亮度，大小，运动速度，而通过这些信息就可以推出它的相对位置、质量、实际亮度及颜色所处的演化阶段。而每一种恒星在发光的时候，都有自己独特的颜色标识，也就是各种颜色，各种元素发出一定颜色形成了光谱-颜色是温度的反映，红色是 3000K，黄色是 6000K(太阳)，白色是 10000K 到 20000K，蓝色是 30000K 到 100000K，由此我们得出结论，恒星颜色越接近蓝色，温度则越高，我们只需要找出最明亮部分对应的波长可以推测恒星的温度，继而推测出恒星的大小。

#### 趣味窗-燃煤趣事

我们的祖先很早就注意到恒星有颜色不同，如心宿二名为“大火”，即指出它是火红色，又如注意到天狼星为白色，参宿四为黄色，参宿五为蓝色，为什么会有不同的颜色呢？这是由于它们的表面温度不同。如红色的心宿二表面大约是 3000K，太阳是黄色的，表面温度约 5700 K，白色的织女星表面温度约为 1

万 K，有些天体发射不可见的光，温度也可能很高，比如致密的中子星发射大量的伽马射线，中子星的表面温度高达 1500 万 K。我们生活中有这样的体会：火炉里的煤在刚开始燃烧时，看上去是红色，随着炉火的温度逐渐升高，火焰呈现黄色，随后是白色，到最旺时火焰就呈现蓝色的光芒，原来炽热的发光天体颜色反映了它的温度。

恒星的亮度是指人们对可见光波段所感受到的明暗程度，恒星的光度是恒星的本身发光程度，恒星的亮度也叫视星等，恒星的光度叫做绝对星等，星等是天文学史上传统形成的表示天体亮度的一套方法，视星等是亮度等级，绝对星等是光度等级。星等越小，亮度就越大。古希腊天文学家根据恒星的明暗程度把他们分成六等，认为第一等和第六等亮度相差 100 倍。

六个星等分别是：

一等星：特别明亮，他们在附近的恒星中非常突出。

二等星：比较明亮，北极星和北斗星可作为代表（北斗四除外）。

三等星：不太明亮，但在薄雾、明月和城市灯光下，一般仍可见到。

四等星：较为暗淡，在上述情况下，隐匿不见。

五等星：很暗淡，天全黑时可见。

六等星：最暗的星，只有在良好的观测条件下方能见到。

连续几个星等的亮度成几何级数。

若相邻两星等的亮度比率（级数的公比）为 R，则

$$\begin{aligned} R^5 &= 100 & 5 \lg R &= 2 \\ \lg R &= 0.4 & R &= 2.512 \end{aligned}$$

星等相差 1 等，恒星的亮度相差 2.512 倍。望远镜问世后，星等扩展到更暗的恒星，现代最强大的望远镜，能观测到 25 等的暗星。另一方面，星等还向 0 值和负值扩大。如：全天最亮的恒星（除太阳）天狼星为 -1.45 等，金星最亮时为 -4.22 等，月亮满月时为 -12.23 等，太阳为 -26.74 等。太阳的亮度是一等星亮度的  $(2.512)^{27.74} = 1300$  亿倍。

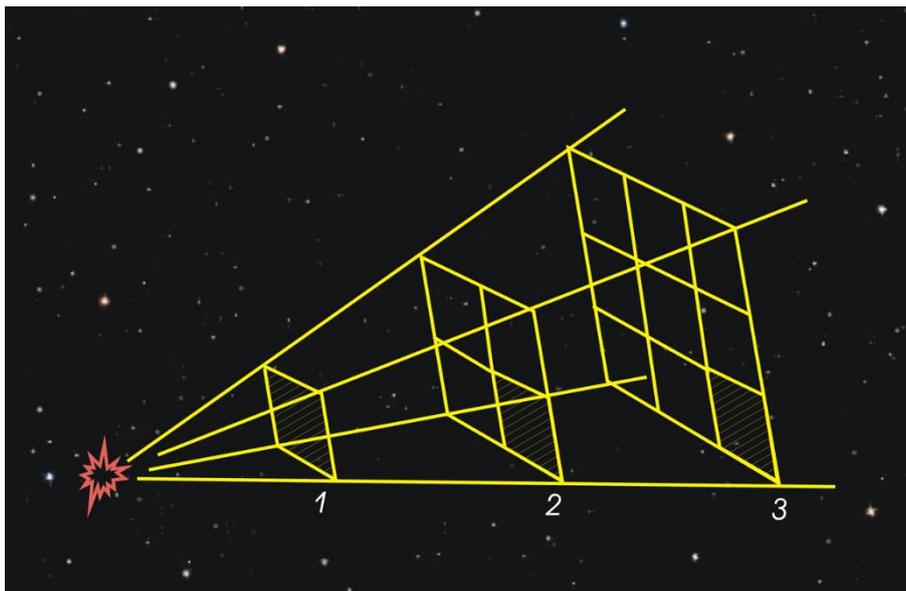


图 2-3 光源的视亮度与其距离的平方成反比

## 2. 恒星的距离

当我们仰望星空时，从视觉上看，很难辨别出天体的远近，似乎是等距的，他们和观测者的距离犹如球面上的点同球心的关系，这样，太阳、月亮和恒星似乎都分布在一个很大的球面上。当然，我们把这样的投影球面叫做天球（如图 2-4）。

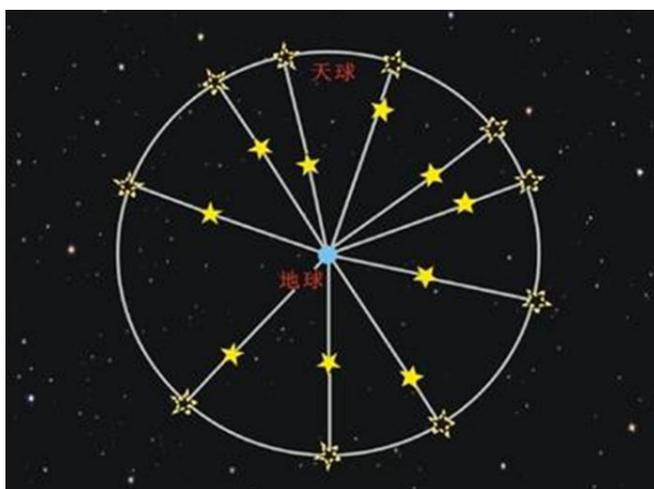


图 2-4 以地心为中心的天球

关于火星逆行现象，我们在前面的知识点中，其实已经探讨过，我们可以认为火星与地球进行相对运动，我们假设火星不动，由于地球是地内行星，公转的速度比火星要快，地球自西向东公转到不同的位置，火星在天球上的投影的位置则从东向西走了一定的轨迹，看上去火星在逆行。如地球以太阳为中心进行为期一年至西向东公转运动，那对于地球上的人来说，恒星在天球上的投影则以一年为周期至东向西“四季轮转”。

而对于不同的方向之间有了夹角，这个夹角叫视差，目标方向发生改变的路径叫视差位移（如恒星的周年视差）。恒星周年视差的发现，是天文学史上一项卓越的成果，有人做了一个形象的比喻：天文学家巧手抛下去的“测深锤”，第一次达到了海底。半人马座“南门三”是距我们最近的恒星，有“比邻星之称”，这个角度太小了，相当于在 5 千米外看一枚分币的角度，他的距离是 206265 除以 0.76 等于 272000AU（天文单位）。

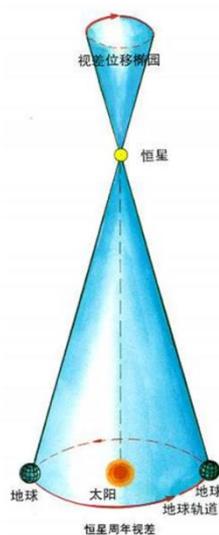


图 2-5 恒星周年视差

### 趣味窗——“胖织女与瘦牛郎”

由于天体的亮度不仅和天体本身的特性有关，而且还和天体距观测者的远近有很大的关系。在我们观测者看来，织女星与牛郎星差不多一样大，但是事实上织女星相较于牛郎星大得多，只不过织女星由于距离地球更远，所以在地球上的人类看来牛郎星与织女星大小相差不大，如果真有鹊桥相会，就算他们以光速运动，两者也需要将近四年见一次面（如图 2-6）。

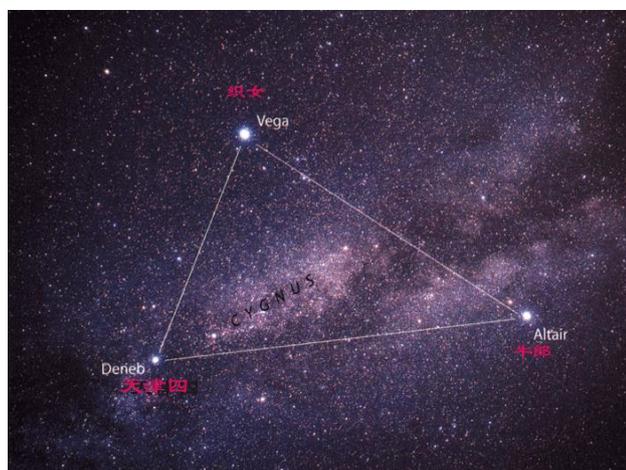


图 2-6 “胖织女”与“瘦牛郎”

### 趣味窗—天体的距离

|               |                   |
|---------------|-------------------|
| 太阳            | 1.5 亿千米 (8.3 光分)  |
| 比邻星(离太阳最近的恒星) | 1.64pc (4.3 光年)   |
| 天狼星           | 2.64pc (6.9 光年)   |
| 牛郎星           | 5.14pc (16.8 光年)  |
| 织女星           | 8.12pc (26.5 光年)  |
| 太阳到银心距离       | 8.5kpc (27727 光年) |
| 银河系半径         | 25kpc (81550 光年)  |
| 大麦哲仑云         | 50kpc (16 万光年)    |
| M31 (仙女座大星云)  | 725kpc (220 万光年)  |
| 室女星系团         | 16Mpc (52 百万光年)   |

### 3. 恒星的多样性

恒星在宇宙中是最主要的天体，存在形式多样。人们分类体系不同，恒星名称也不一样。依据恒星之间的关系分为：单星（孤星）、双星、三星、聚星、星团、星协等；依赫罗图上恒星的特点可分为：主序星、红巨星、白矮星、超巨星等；依亮度稳定程度以及活动的情况分为：稳定恒星（如：目前太阳）和不稳定恒星（如变星、新星、超新星等）；根据特殊性质分为：普通恒星和致密星（如：中子星、脉冲星、黑洞等）。

#### （1）单星、双星、聚星、星团和星协

单星指孤独存在的恒星，近旁没有因引力作用而与之互相绕转的天体。象太阳就是一颗单星，因它与比邻星——半人马座 $\alpha$ 星（中名“南门二”）相距 4.2 光年，缺乏引力联系，不互相绕转。



图 2-7 天狼星及其伴星

在恒星中，相互之间有物理联系的最简单的是双星系统。由于彼此间的引力作用而沿着一定的轨道互相绕转，这样的两颗星称为双星。在银河系中约有 1/3 的恒星是双星。组成双星的两个恒星分别被称为双星的子星，较亮的子星称为主星，亮度较小的称为伴星。在较亮的恒星中，天狼星、五车二、南河三、角宿一、心宿二、北河三、北斗一、参宿三、参宿一、参宿七等都是双星。

双星可以分为光学双星和物理双星两大类。光学双星仅是恒星投影在天球上很靠近，实际彼此无关，是互为独立的两颗单星，这类双星无研究意义。物理双星的两颗子星在空间彼此靠得很近，相互吸引，并绕公共质心旋转，人类感兴趣的则是物理双星。

通过望远镜，人眼可以直接分辨出子星的双星称为目视双星；根据视向速度，并由谱线位移的规律而判知的双星，称为分光双星；由子星相互掩食而造成亮度规则变化的双星称为食双星；由两颗椭球状子星组成，其合成亮度随位相按一定规律变化而被发现的双星，为椭球双星。

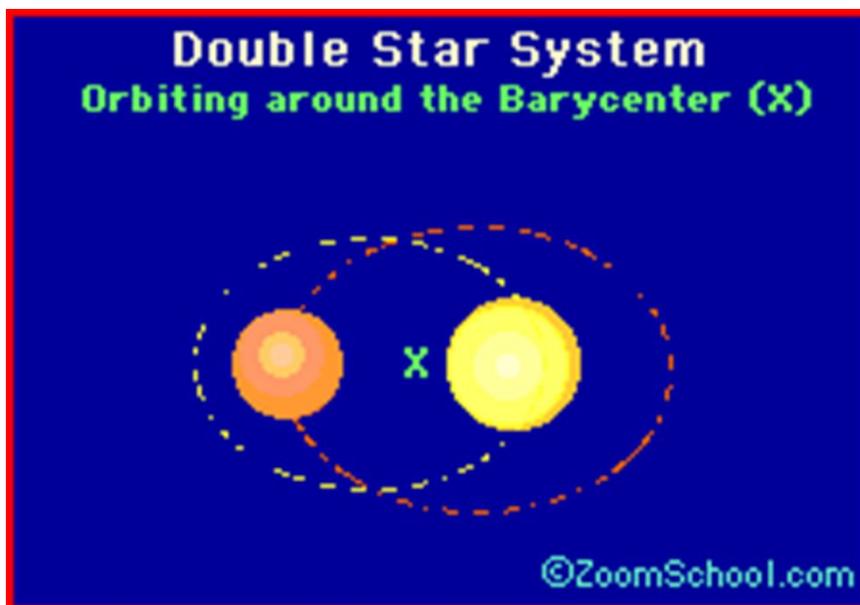


图 2-8 双星系统

三个以上的恒星聚合在一起，组成一个体系，这样的恒星集团就叫做聚星，聚星的成员往往是三个到十来个。北斗七星中的开阳星，就是一个著名的聚星，用肉眼可以看到其近旁有一个较暗弱的辅星。用望远镜观测开阳星，容易看出它本身也是一个双星，两个子星相距离 14"，开阳星和辅星相距 11"，以 A 和 B 表示开阳星的两个子星，以 C 表示辅星，且通过光谱分析和光度测量发现，A 和 C 都是密近双星，而 B 是三合星，所以开阳星和辅星一共有七颗星。

由成团的恒星组成的、被各成员星的引力束缚在一起的恒星群称为星团。所以，像昴星团、毕星团、鬼星团等这些亮星团除有自己专门名称外，天文界就用这些星表的编号作为星团的名称。一般认为星团成员有相同起源，因此，星团是研究天体演化的重要对象。

根据形状和结构，星团可分为两类：一类叫疏散星团（又叫不规则星团或银河星团）；一类叫球状星团（也叫规则星团）。星团的成员彼此间有相对运动，同时，星团的整体也存在着空间运动。



图 2-9 疏散星团

疏散星团具有不规则的形状，星数一般有十几个到几百个，也有多到几千个的，结构比较疏散，成员星间的角距离较大，很容易分清各个单星。已经发现的银河星团并载入表中的约有 1000 颗星。球状星团呈球形或扁球形，其成员星从几万个到几百万个，中心部分很密集（用现代望远镜也难以分辨出单星来），边缘较稀疏；越靠近中心越密集。银河系的球状星团对银道面而言，空间分布大致是对称的，球状星团向银道面聚集的程度很大。



图 2-10 球状星团

现在天文学家认为由 O 型星和 B 型星等成员星组成而且具有物理联系的系统叫星协。与星团不同的是：它们主要由光谱型大致相同、物理性质相近的恒星组成，所以星协是一种比较特殊的恒星集团。据观测，有些天区（例如猎户座和英仙双星团周围）这类星协比较多，已发现的有 O 星协、B 星协、OB 星协、T 星协，上述的猎户座天区既有 OB 星协又有 T 星协。

因为 O、B 型恒星和金牛 T 型变星都是十分年轻、不稳定的天体，所以星协属于十分年轻的天体。有人认为星协是“恒星形成的发源地”，但天文界观点现

在还不一致。不管怎样，星协的发现，说明银河系现在还有恒星诞生，而且可以单个或成群地产生，这对研究天体的起源很有意义。

## (2) 变星、新星和超新星

大多数恒星在很长的时间内，亮度大致是固定的，属于稳定恒星。但也有相当多的恒星，亮度或电磁波不稳定，经常变化的并伴随着其它物理变化，我们称为变星。目前银河系内已发现约有 3 万颗变星，其中约有一半以上的变星，其光度变化的原因是由于这些星进行着周期性的膨胀和收缩，在天文上称为“脉动”，脉动周期有短到一个小时的、也有长到二三年的，这类变星叫脉动变星。另一类变星称爆发变星，它们的光度变化很剧烈，有的在几天之内，光度就猛增几万倍。新星是爆发变星的一种，有时候在天球上某一个地方会出现一颗很亮的星，它的亮度在很短时间内（几小时到几天）迅速增加，以后就慢慢减弱，在几年或几十年之后才恢复原来的亮度，这就是新星。它是已演化到老年阶段的恒星，在未发亮之前比较暗，不引起人们注意或者肉眼根本看不见，不要误解为“新”诞生的星。爆发时母星的外壳抛出，质量大部分的内核尚能留下，爆炸释放的能量使它的亮度突然增大好多倍，使以前未曾被人注意的暗星变成亮星。

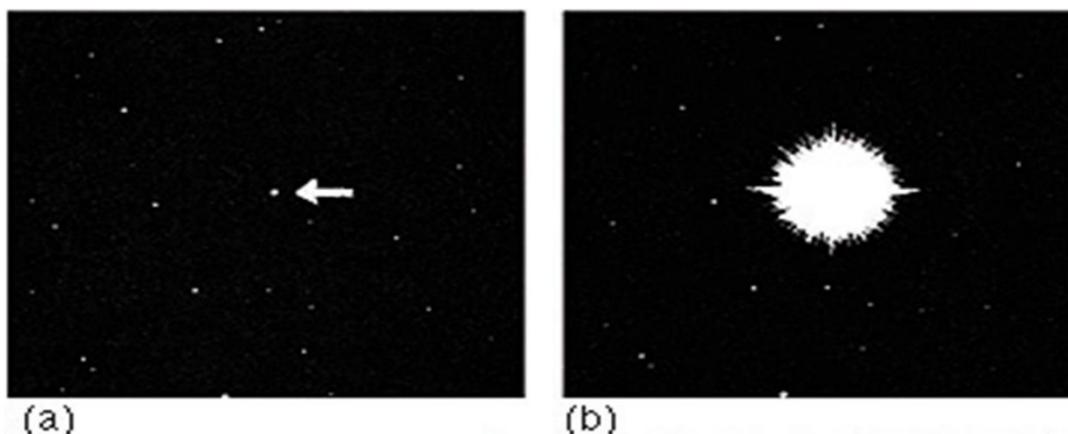


图 2-11 武仙座新星爆发 ((a) 1935 年 3 月, (b) 1935 年 5 月)

超新星是激烈的天体能量释放过程，是恒星的“回光返照”现象，但从观测角度来说它们是罕见的天文现象。超新星同新星很类似，但超新星的爆发规模更大，爆发时亮度可猛增 20 个星等或更多，光度增加一千万倍到超过一亿倍，达到太阳光度的 10 亿倍以上。很多超新星爆发后完全瓦解为碎片、气团，不再是恒星了，只有少数的超新星留下残骸，成为质量比原来小得多的恒星和它周围向外膨胀着的星云。金牛座蟹状星云就是一个例子，在星云的中间有一颗不太亮的恒星，它就是超新星爆发后的残骸，星云目前以 1300 千米/秒的速度在膨胀着。据资料，目前超新星大多数是在河外星系观测到的，在我们银河系记录下来的超新星不多，其中最有名的是公元 1054 年 7 月观测到的金牛座里出现的超新星，就是形成蟹状星云的超新星。我国史书《宋会要》有关于这个超新星出现描述的世界公认的最早记载是：“至和元年五月晨出东方，守无关，画见如太白，芒角四出，凡见二十三日。”此外还有 1572 年爆发的第谷超新星，1604 年爆发的开普勒超新星等。

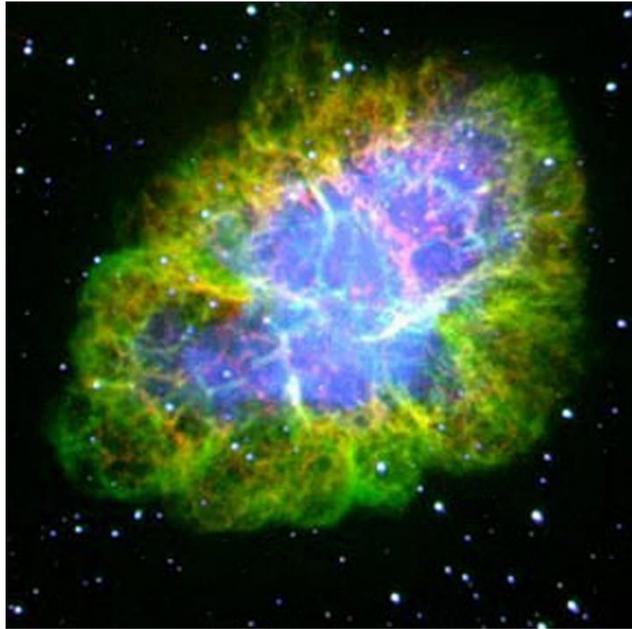


图 2-12 金牛座蟹状星云

## 趣味窗—历史上的新星爆发

| 爆发时间 (AD) | 极大星等 | 发现者          | 遗迹          |
|-----------|------|--------------|-------------|
| 185?      | -8   | 中国天文学家       | RCW 86      |
| 393       | -1   | 中国天文学家       |             |
| 837?      | -8?  | 中国天文学家       | IC443       |
| 1006      | -10  | 中/阿天文学家      | SN 1006     |
| 1054      | -5   | 中/日天文学家      | Crab Nebula |
| 1181      | -1   | 中/日天文学家      | 3C 58       |
| 1572      | -4   | Tycho        | Tycho       |
| 1604      | -3   | Kepler       | Kepler      |
| 1680      | 5?   | John lamsted | Cas A       |
| 1987      | +2.9 | Ian Shelton  | SN1987A     |

表 2-1 历史上的超新星爆发

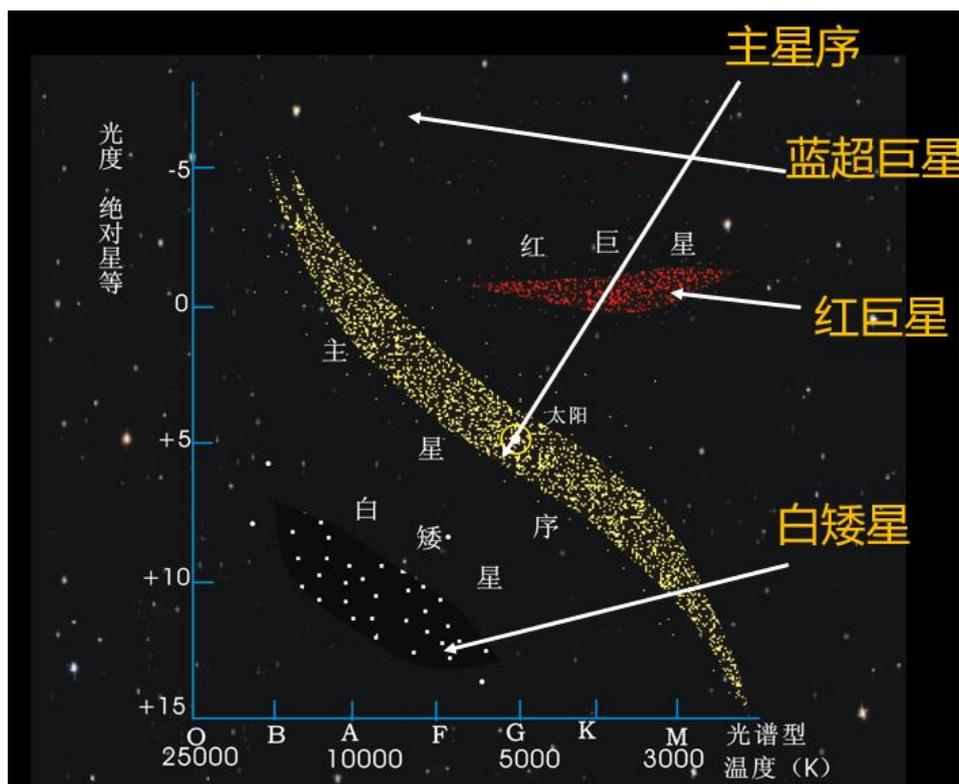


图 2-13 赫罗图

如英国科学家牛顿与德国数学家莱布尼茨在两地基本同一时间、独立发现了微积分一样，丹麦天文学家赫茨普龙和美国天文学家罗素，不约而同地创制了恒星光谱型和光度的坐标关系图。为了纪念两位科学界，该图被称为“赫罗图”赫罗图不仅能够解释恒星的光谱与亮度的关系，而且能解释其与恒星本身质量与体积的相互关系。更为微妙的是，赫罗图也能解释大多数恒星的演化阶段，可以说赫罗图是恒星的“百科全图”。按照温度由高到低的次序将恒星的光谱分成 OBAFGKM 七种光谱型，每一个光谱型可以继续分为 0-9 十个次型，太阳的光谱型为 G2。有人曾经这样总结光谱型的口诀：“Oh, Be A Fine Girl kiss Me!”。

赫罗图指出了恒星的普遍性和特殊性原理。普遍性原理：90%的恒星分布在图中从左到右下的一条窄带上温度，由高到低，亮度由大到小，形成一个明显的序列（主星序）；大多数恒星的光度取决于它们的温度，温度越高，光度越大，温度又取决于其本身的质量和大小。特殊性原理：图右上方红巨星温度低，但光度很大，说明他是一颗冷星，但又很明亮的原因是体积大增加了发光面积。低温的红巨星是恒星世界的超级巨人，赫茨普龙定义其为“鱼中之鲸”，已知最大的恒星为仙王座 W，质量是太阳的 40 亿倍；图最上方蓝超巨星，温度高，亮度大。说明其质量和体积都很大，红巨星和蓝超巨星占恒星的 1%；图左上方白矮星，温度高，但光度小，一颗热星却有很暗的原因是：体积小减少了发光面积，如天狼星伴星，半径是太阳的 0.75%，体积比地球还小，但拥有与太阳相反的质量，白矮星在恒星世界里占比 10%；脉冲星（中子星）是恒星演化到晚期，能量枯竭，引力塌缩的结果，中子星是恒星的物理性质，密度极大，体积极小，高速旋转形成了致密的天体。

### (3) 主序星、巨星、白矮星、中子星和黑洞

在赫罗图中，沿左上方到右下方的对角线区域上的主星序的恒星，称为主序

星。它们在亮度、大小和温度方面存在稳定关系，一般温度高的星光度就强，随着温度减少光度也减弱，化学组成均匀和核心氢燃烧为氦。大质量星耗费能量比小质量星要快，而且，恒星质量越大，半径也越大、发光本领也越强，表面温度也越高。恒星在主星序上宁静地、稳定地发光，并度过它一生中大部分时间，随后它们离开主星序，就进入晚年阶段。在主序阶段，恒星的体积最小，因此，主序星有人也称为“矮星”。

赫罗图上体积大、温度低、光度大的一组星叫“巨星”；在赫罗图巨星上方是“超巨星”。恒星演化到巨星阶段，内部的氢已所剩不多，且额外的热能使它膨胀时发展成为巨大恒星，因外层温度较低的，为红色，有的称“红巨星”。

在赫罗图左下角的有一群星，与矮星不同，它已不是正常星了。光度低，表面温度高，是小白热化的天体。光谱型为A型，称为白矮星。当白矮星停止发光时就变成黑矮星，成为宇宙中的暗物质。白矮星的发现，特别是它的高密度，引起人们的极大兴趣，但是白矮星光度太低，很难观测。到目前为止已经发现的白矮星达一千颗以上，但资料较完整的白矮星大约只有一半。白矮星是在天文学家不知道它是什么样的星和它为什么辐射的情况下，凭经验发现的，而中子星的发现过程则完全不同，它与太阳系的海王星发现类似，也是在“笔尖”上先发现，是人类对恒星演化终态认识后提出的。

中子星的质量不超过太阳质量的三倍，为普通恒星的质量，但密度很大，体积很小，被强引力束缚，物质被挤压在很小的球体内，半径只有十几 km，中子星磁场强，自转速度快且自转能转化为辐射能。

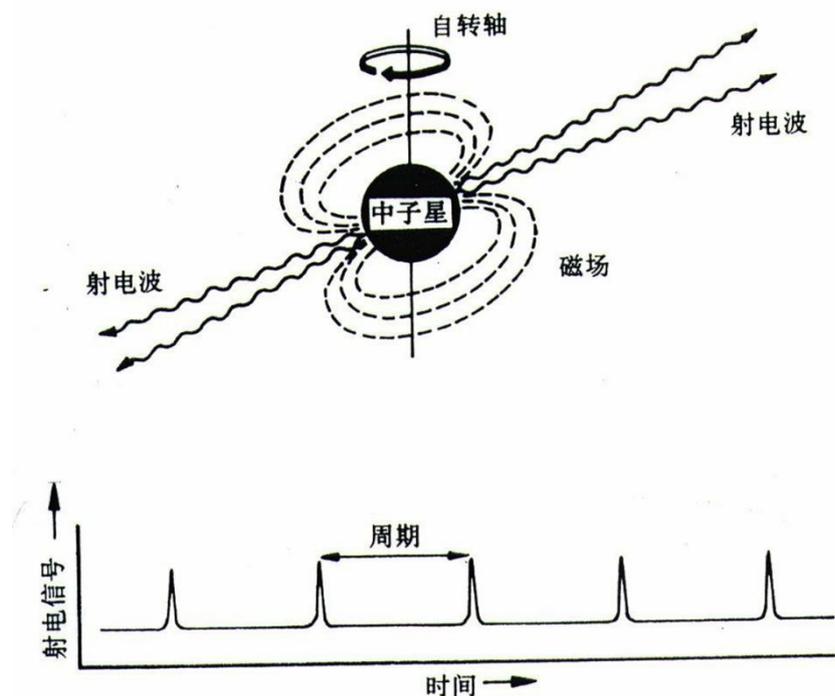


图 2-14 中子星辐射原理

黑洞是 20 世纪两大物理理论，即“广义相对论”和“量子力学”联合应用恒星演化终局问题所做出的预言。它是一种特殊的天体，很多观测事实表明它的存在的可能性，当时虽未找到它对应的天体名称，但由理论已提出黑洞的特点：一是黑，它无光射到地球上，因而看不见它，二是它像一个洞，一旦落到它里面，就像掉入无底深渊，再也跑不出来，黑洞具有一个封闭的视界，就是黑洞的边界，外来的物质和辐射可以进到视界以内，而视界内的任何物质都不能跑到外面。

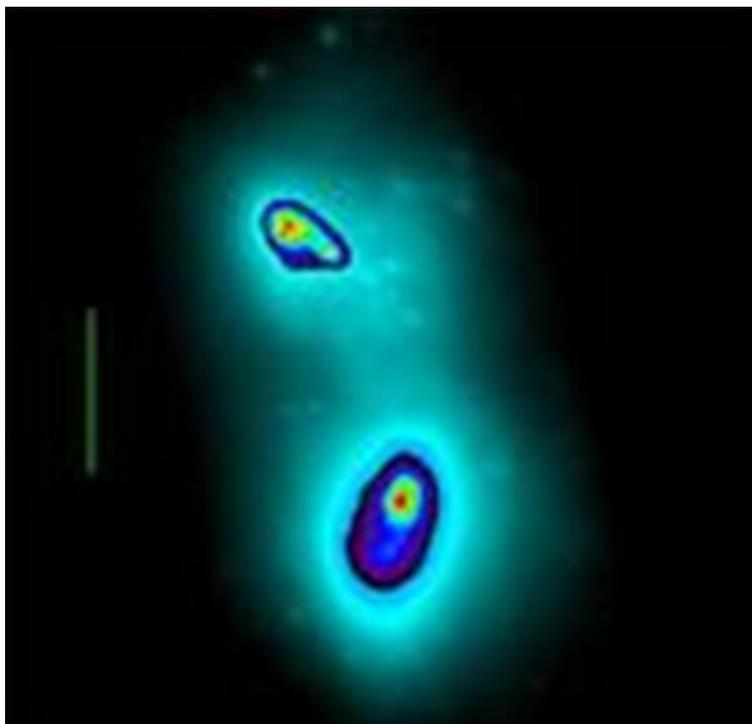


图 2-15 两个正在相互吞食的黑洞

### 趣味窗—如果一个小小的黑洞靠近地球会怎么样？

1 立方厘米的黑洞，对应质量为  $4.2 \times 10^{24}$  千克，是地球质量的 70%，当这颗黑洞靠近地球时：(1) 黑洞远在 100 万公里处，地球就会受到黑洞引力的明显影响，面对黑洞的一侧，海洋潮水会隆起。(2) 距离地球约 10 万公里处，黑洞巨大的潮汐力，会影响到地壳的稳定性，此时地球上超级火山爆发、地震四起、海啸滔天。(3) 继续靠近地球后，地球会因为黑洞巨大的潮汐力，导致地壳解体，地球大气源源不断地被黑洞吸走，并形成黑洞吸积盘。(4) 继续接近地球，地球将彻底解体，地球物质被黑洞吸走，最后黑洞把地球完全吞噬，形成一个 1.7 倍地球质量的黑洞。

## 二、恒星的演化

恒星演化是一个恒星在其生命期内（发光与发热的期间）的连续变化。生命期则依照星体大小而有所不同。单一恒星的演化过程缓慢，人类难以完整观察。在早期，天文学家多用赫罗图来揭示恒星演化的秘密，现代天文学家则通过观察许多处于不同生命阶段的恒星，并利用计算机模拟恒星的演化。太阳则是人类研究恒星的最便利的样本。

能量是热核反应产生的，核反应将星核中较轻的成分转化为较重的物质。在重力作用下恒星形成气体和尘埃状的星云。星云物质经过压缩后，温度会升高，当中心达到一定温度（ $\geq 1000$  万 $^{\circ}\text{C}$ ）的时候，热核反应释放出能量，这时恒星就形成了。热核反应释放出的能量能够平衡压缩恒星的引力，使恒星处于稳定的状态。一般恒星的质量范围在 0.1 太阳质量~60 太阳质量之间。要是质量太低（若小于 0.08 太阳质量的天体），靠自身引力不能压缩它的中心区达到热核反应并自身发可见光，要是恒星质量太大（大于 60 太阳质量的天体），由自身引力压缩，中心很快达到高温，辐射压大大超过物质压，很不稳定，目前还未发现这类恒星。

通过光谱分析，可以获悉恒星的主要化学组成。现已知道，大部分恒星以氢、氦为主，其它为重元素，而重元素的多少比例可反映出恒星的演化阶段。若把富重元素的星称为星族 I，贫重元素的星称为星族 II，有人认为星族 I 是晚期形成的，星族 II 是早期形成的。所以，决定恒星特性的两个主要因素是恒星的初始质量和化学组成。

形成恒星的星云是位于图中极右的区域，但随着星云中分子云开始收缩，其温度开始上升，会慢慢移向主星序带。恒星临终时会离开主序带，恒星会往右上方移动，这里是红巨星及红超巨星的区域，都是表面温度低而光度高的恒星。经过红巨星但未发生超新星爆炸的恒星会越过主序带移向左下方，这里是表面温度高而光度低的区域，是白矮星的所在区域，接着会因为能量的损失，渐渐变暗成为黑矮星，左下方的恒星也会最终演化为恒星的初始阶段一星云。

同自然界一切事物一样，恒星也有生老病死，恒星也经历着从发生、发展到衰亡的过程。恒星演化问题的基本认识是 20 世纪后半叶天文学的最大成就之一。概括地说，恒星的一生大体上是这样度过的：星云→分子云→球状体→原恒星→年轻的恒星→中年恒星→老年恒星→衰老和死亡。总的来说，恒星在引力作用下“诞生”，也在引力作用下“死亡”。

### 趣味窗—恒星演化时序与结局

|                                   |                 |           |            |                 |
|-----------------------------------|-----------------|-----------|------------|-----------------|
| <b>M (<math>M_{\odot}</math>)</b> | <b>30</b>       | <b>15</b> | <b>1.0</b> | <b>0.5</b>      |
| tn (yr)                           | $2 \times 10^6$ | 107       | 1010       | $6 \times 1010$ |

表 2-2 不同质量主序星的演化时标

| 恒星初始质量 ( $M_{\odot}$ ) | 演化结局       |
|------------------------|------------|
| $< 0.01$               | 行星         |
| $0.01 < M < 0.08$      | 褐矮星        |
| $0.08 < M < 0.25$      | He 白矮星     |
| $0.25 < M < 8$         | CO 白矮星?    |
| $8 < M < 12$           | ONeMg 白矮星? |
| $12 < M < 40$          | 超新星→中子星?   |
| $M > 40$               | 超新星→黑洞?    |

表 2-3 不同质量主序星的演化结局

**附中教师说:**

1. 生命的起源需要能量，生命的维持也需要能量，而恒星的起源，演化与消亡也与能量有关。
2. 恒星从星云当中产生，又消亡于星云，循环往复，周而复始。茫茫宇宙，不过如此，地球异于其乎？
3. 恒星因体积与质量（引力）而“生”，也因体积质量（引力）而“亡”。
4. 恒星的一生“静悄悄的开始，波澜不惊的成长，轰轰烈烈的结束”。

## 第二节 星座识别

### 一、星座命名

德国哲学家康德有句名言很多人都奉为经典：“世界上有两件东西能够深深地震撼人们的心灵，一件是我们心中崇高的道德准则，另一件是我们头顶上灿烂的星空”。我们怎样来了解我们的宇宙，了解恒星和银河系，以及我们的太阳系，最基本，也是最简单的方法是仰望夜晚的星空。

当夜幕降临，星辰布满天空时，登高仰望这墨玉上镶嵌的点点银钉，它们三五成群地构成不同的美丽图案，不由得使你浮想联翩，你可能会问：天上的星星有多少啊？它们距离我们有多远？怎样才能识别颗颗星星的名字呢？要了解这些问题，首先就让我们从认识星空谈起。

认星是学习天文知识的第一步，又是认识和研究宇宙必不可少的一种技能。不少著名的天文学家都是从认星开始，而后步入探索宇宙奥秘的伟大事业中的。天文学的发展就是从古代的人们为了确定季节和辨认方向而认识星空开始的。中国人早在三千多年前就发现每年耕种开始，“大火”星（心宿二）傍晚出现在东方。明朝郑和下西洋，借助“过洋牵星图”确定方位和航向。古埃及人根据天狼星的位置变化来确定尼罗河泛滥的时间。可见，认星是很有意义的。

我们在夜空中所看到的星星，实际上都是遥远的天体其中用肉眼可以看到的行只有五颗，它们是金星、木星、水星、火星和土星，其中金星是全部星空中最亮的一颗星水星距太阳最近，是这几颗行星中最不容易看到的。

俗话说：“天上的星星亮晶晶，数也数不清”。其实在晴朗无月的夜晚，只要你耐心观察，仔细数一下，是可以数出星星的数目的。人们用肉眼可以看到六千多颗星星，但在我们这里由于一部分星星一直在地平线以下所以我们并不能看到那么多，观测到的，只是地平面以上约三千颗星。随着科学技术的发展，人们借助各种望远镜来观察宇宙，目前我们看到的星星已达上亿颗了。在这么多的星星中，除了太阳系中的行星、卫星、人造卫星、流星体、彗星以外，其它绝大部分都是像太阳一样能自己发光的恒星，恒星在天空中的相对位置看起来似乎是不变的。实际上它们都以很高的速度在宇宙中运动着，只是由于离我们很遥远，短时期内难以察觉罢了。距离地球最近的恒星是比邻星也叫南门二它距离我们有 40 万亿公里。由于太远了，因而我们需要用光年来描述它们的距离。光年就是光在一年中所走过的距离，光是宇宙中走的最快的，每秒达 30 万公里，一年就要走 95 万亿公里。如果用光年来表示比邻星的距离，是 4.3 光年。这说明，我们现在看到的比邻星的光，实际上是 4.3 年前发出的，这段距离，一架时速为 1000 公里的飞机，要飞 400 多万年才能到达，夏季横跨银河的天鹅座，其中最亮的星叫天津四，距离我们 1740 光年、也就是说、我们现在看到的天津四是 1740 年前三国时期的模，它现在是什么样子呢？1740 年后我们才知道，假如现在这颗星爆炸不存在了，我们还可以足足欣赏它 1740 年。

天上的恒星很多，古巴比伦和希腊人为了认星方便、把分布在星空中的亮星按照它们排列的形状，分为若区域，并联想为器具、动物和人的形象，附以故事传说。这些区域称为星座，就好像一个国家分成好些省、市一样。公元二世纪，希腊天文学家已经把北部天空的星座名称大体上确定下来了。南部天空的星座一直到十七世纪环球航行成功后，再经过航海家观察才逐渐确定下来。1928 年国际天文学联合会公布了 88 个星座方案，其中北天星座有 29 个，南天星座有 47 个，黄道星座有 12 个。并且规定星座的分界线大致用平行天赤道和垂直天赤道的线。

每一颗恒星都有一个代号。较早的时候，天文学家是以星座加字母的方法给亮星命名，即在每一个星座中，按恒星的亮度、顺序标以小写的希腊字母  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ ……例如，金牛座  $\alpha$ ，即表示金牛座中最亮的星。24 个希腊字母用完后就用拉丁字母。如遇几颗星亮度大体相同，那么就按神话中的图形，从

头至尾来标字母。这里还要提一下，有时我们观星时会发现，有的星座中， $\beta$  或  $\gamma$  星反而比  $\alpha$  星亮，这是怎么回事呢？每个星座的恒星，大体上是依据星的亮度等级，按希腊字母顺序来命名，但由于特殊原因也有少数例外。例如：北斗七星内七颗亮星，是从斗口开始，顺着斗柄按希腊字母，由  $\alpha$  到  $\eta$  来排列。而不按亮度等级来命名。这样，北斗七星中最亮的是  $\epsilon$  星，而不是  $\alpha$  星，又如双子星座  $\alpha$  星（中名北河二），是 2 等星；可是  $\beta$  星（中名北河三）反而是 1 等星，这是历史延续下来的，我们只能沿用原来的星名，不能做临时修改。

在编排星名时，字母的数量总是有限的，后来便改用数目字编号的办法，即把一个星座中的恒星，按照自西向东的顺序进行编号。如大熊座 80，就是大熊座第 80 号星。这个办法可以给大量的恒星命名。

现在，一般所用的星图中，上述两种办法兼用。通常以字母表示亮星名称，以数月字表示暗星的名字。我国古代按星宫系统进行编号。如织女一、河鼓二、南河三、天津四、毕宿五等是中国的专用名称。

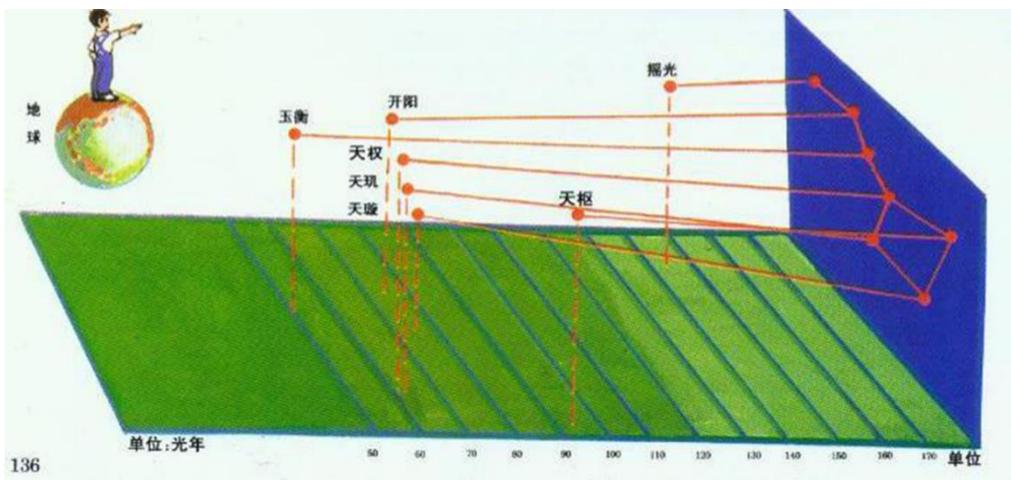


图 2-16 恒星与星图（北斗七星）

## 二、四季星空

### 1. 春季星空

春天是万物复苏、鸟语花香、风和日丽的季节，春夜的星空也显得瑰丽迷人。

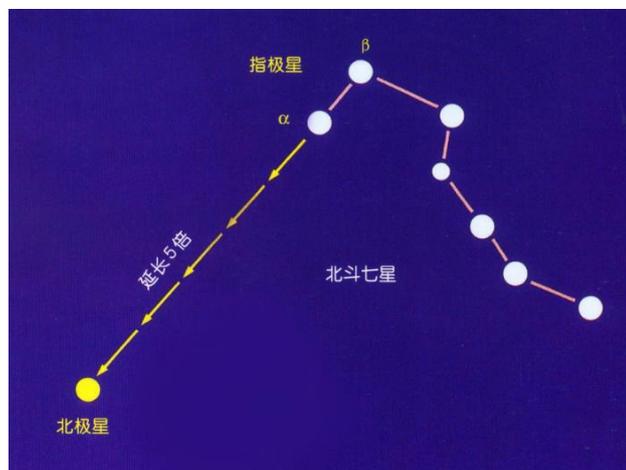


图 2-17 通过北斗七星寻找北极星

大熊星座的北斗七星高悬在头顶上空，它的斗柄指向东方，表示春天的降临顺着天枢、天璇向北望去，北极星在闪闪发光，给人们指引着方向。一条巨龙，头朝东尾朝西蜿蜒盘旋在大小两熊之间，这就是著名的天龙座。再顺着天枢、天璇向南望去，大约七倍远处是以九颗亮星组成的狮子座。它是最壮丽的星座之一，也是春夜星空中的主要角色。其中六颗星组成一把大镰刀的图形，也像一个反写的大问号，这象征着狮子的头和前身；在它的东面有三颗星组成一个三角形，象征着狮子的后身，整个星座看上去确实像一只雄壮的巨狮。希腊神话中，狮子座原是一只猛狮，一位勇士降伏了它，后来被带到天上，成为现在威风凛凛的狮子星座。大问号下面的一点，是狮子座的主星 $\alpha$ ，中名叫轩辕四，亮度1.3等，是全天二十一颗亮星之一。它的位置几乎是跨在黄道上，古今中外都十分器重它。三千前，巴比伦人叫它“国王”，印度人叫它“伟大者”，波斯叫它“中心者”，都把它看作是支配天下万事的大星。

狮子座的东邻是一个大星座，叫室女座，座内有一颗青白色的亮星在闪闪发光，它就是室女座 $\alpha$ ，中文名角宿一，亮度一等。整个室女座的上方有牧夫座、猎座、以及后发和小狮两个小星座。牧夫座有一颗橙红色的亮星 $\alpha$ ，中名叫大角，亮度1等，是春夜星空中最亮的一颗。它和室女座 $\alpha$ （角宿一）、狮子座 $\alpha$ 星（轩辕十四）组成春夜空中壮丽的大三角形，被人们称为“春季大三角”。

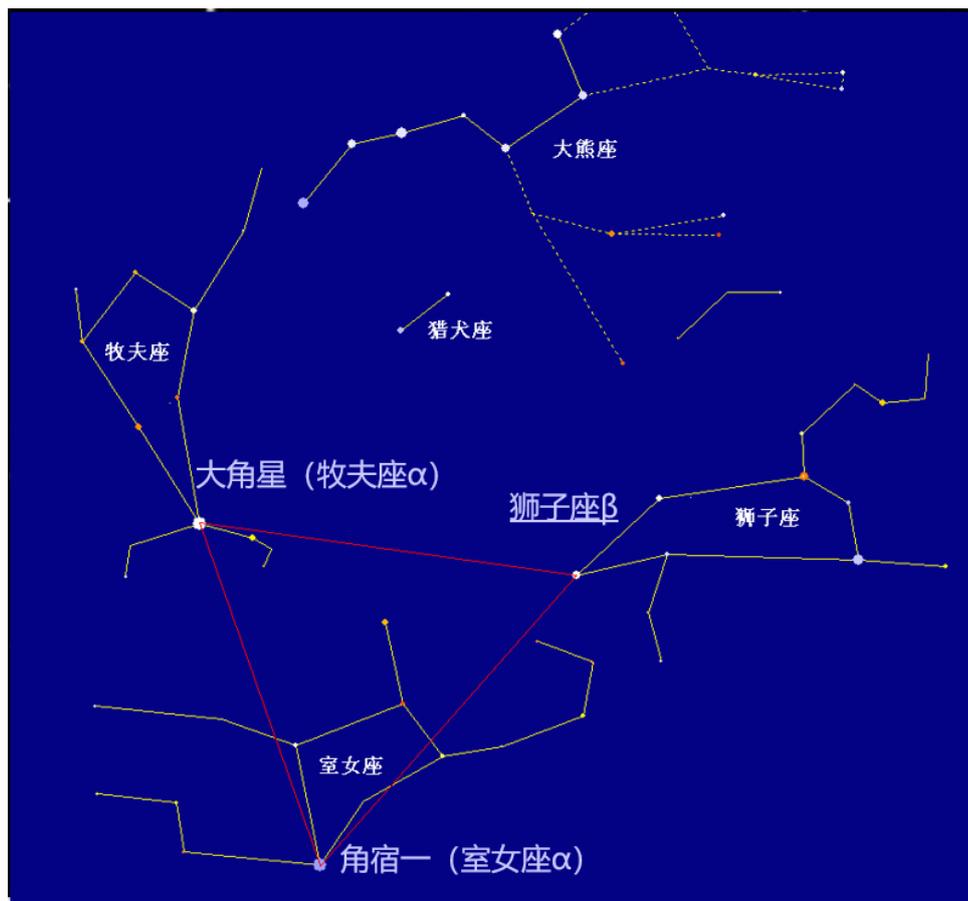


图 2-18 春季大三角

牧夫座中另有五颗暗星组成一个五边形，加上大角，很像一个夜空中的大



## 2. 夏季星空

告别了春天，地球载着我们来到夏天。夏夜是一年中最好的看星季节。当我们送走了白天的烈日骄阳，在夜幕下，边乘凉，边观星，这是多么令人心旷神怡和富有诗意。

仲夏之夜，满天闪烁着灿烂的繁星，十分热闹。北斗七星在西北方向的半空中，斗柄指向南方，告诉人们夏季已经来临。轻纱般的银河像瀑布一样横跨天穹南北银河东边是展翅邀翔的天鹰，隔河相望的是轻轻弹拨的天琴；银河中间有引颈南飞的天鹅；南方低空则是刚要爬上银河的蝎子，对岸是弯弓瞄射蝎子的人马。它们与银河交相辉映，使星空显得更为绚丽多彩。你想在夜空中寻找它们吗？下面我们从天鹅座找起。

天鹅座位于银河的北段中，从银河的背景中可以看到有五颗亮星组成一个十字架形，形如天鹅伸长颈、张双翼飞翔在银河面上。其中最亮的 a 星为白色 1 等星，中名天津四。我国古代把这个星座看作是一个平底的船筏，所以叫做“天津”，意即天河（银河）中的渡船。

天津四距离我们为 1740 光年，是一颗超巨星，它实际上放射着比太阳强烈 5000 倍的光。在这颗星周围，有以每秒 100 公里的速度膨胀的气体云形成的包围圈，天津四再过 8300 年时，距离天球的北极点仅仅 6.6 度，是最靠近北极的一颗亮星了，那时它将成为“北极星”。

在银河西岸有一颗发白色光的亮星，它附近由四颗暗星组成一个小小的菱形，这便是织女星天琴星座，天琴 a 星是明亮的 0 等星，在北天它是最亮的一颗，人们称它为“夏夜王”。天琴座的来历和希腊神话有关。据说琴手奥非斯的琴声非常美妙，能够感动冥府的神，后来他的琴便被移上天空成为天琴座。



图 2-20 夏季大三角



二就是直径 60 米的大球。它的密度不到太阳密度的 500 万分之一，是一颗红色超巨星，如果用望远镜观察，会发现心宿二还是颗脉动变星，有一颗伴星绕它转。它的变化原因是星体周期性的膨胀和收缩。

在天蝎座的东方有群密集的星，组成人马座，它是神话中半神半怪的马人在天上的形象。人马座东边的六颗星构成一个小斗形，统称南斗六尾。人马座附近的银河区域是整条银河最亮的部分，银河系的中心就在这个方向上。冬至点也在人马座中。天蝎座的西面紧挨着室女座的便是天秤座了。天秤座由四颗小星组成一个小的四边形，在夜空中很容易找到，这就是天秤座的四颗主星，天秤座的形象是一个天秤，它是邻座正义女神（室女座）用来称量人世间的善恶、用的。天秤座是一个小星座，除了四颗 3 等的主星外，其它星都很暗；天秤的形象也不明显，因此不太引人注目。

天蝎座的北面是面积广大的蛇夫座和巨蛇座。蛇夫座位于巨蛇的蛇头和蛇尾之间，把巨蛇座分为东西两半。整个星座没有亮星，许多暗星组成一个大的“钟”形，被想象为一个巨大的老人，手里抓着一条令人畏惧的花斑巨蛇。巨蛇座是全天 88 个星座中唯一的一个被分成两部分的星座。它的一半在蛇夫座的东面是巨蛇的尾部，另一半在蛇夫座西面是巨蛇的头部、座内亮星不多，最亮的、 $\beta$  星亮度只有 3 等。

### 3. 秋季星空

到了秋天，星空另是一番景象十月的北国，秋高气爽，玉宇无尘，星空也显得格外清新。

此时，牛郎、织女星已渐渐地偏向西方，巨大的天蝎已在西南地平线沉落下去。北斗七星横在北边地平线上，“斗柄指西，天下皆秋”。这个时期星空的特点是：明亮星座不多，只有飞马座最引人注目，银河静静地斜穿夜空。

南天有巨大的鲸鱼座，北天有仙王座、仙后座、仙女座、英仙座，这四个星座合称为王族星座此时仙后座正好位于头顶上空，五颗亮星组成了一个“M”字形。在它的西北面可以找到仙王座，这两个星座是神话中的国工和王后。他们的女儿也被放到天上，就是仙女座。

仙女座位于仙后座南面，东西长 30 多度，其有四颗亮星排成一列，从东北向西南伸展，直到达飞马座，横贯整个星座。其中仙女头部的  $\alpha$  星（壁宿二）与飞马座的三颗主星组成一个醒目的大四边形，星座内  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  三颗星是 2 等的亮星。

仙女座被想象为一个身带铁链的少女，被锁在海边的崖石上，供海怪吞噬；她娇弱无力地靠着巨石，望着前面的飞马，似乎在期待着乘飞马而来的英雄救她出险，使人们不免对这美丽的少女产生怜悯和同情。

仙女座有许多美丽的双星和聚星，在仙女脚下的  $\gamma$  星便是一个三合星，它的主星是 2.3 等橙黄色的星，子星是 5.1 等黄色的星，这颗伴星的颜色经常变，一会儿看着是黄色、金色、青色，一会儿看着是橙色、蓝色，人们评价它是“天界第一美”的星。用望远镜可以看到这颗伴星本身又是一颗双星，由两颗子星组成，因此星是一颗三合星。

仙女座中还有不少星云、星团，其中仙女座大星云 M1 尤为著名。它是一个同我们所在的银河系差不多的河外星系，它的直径约 16 万光年，距离我们是 230 万光年，在晴朗无月的晚上肉眼可以看到一个模糊的小光斑用望远镜可以看出，这个星系以侧面朝着我们。

仙女座的东北面是英仙座。神话中说仙后得意忘形当众夸口，说自己的女儿比海里的女神还要美，因此惹怒了海神，扬言要降灾给这个国家，否则就用公主来抵命，国王不得已只好忍痛牺牲自己的女儿，这个无辜的公主就是仙女座，吞吃公主的海怪就是鲸鱼座。

正当海怪要吞吃公主的时候，突然来了一位年轻的英雄。这年轻的英雄就是英仙座，英仙座是银河附近最美丽的星座之一，每当秋季的夜晚，在北天高空的仙后座、仙女座附近就是英仙座。他们在天空中仍然保持着亲密的关系，英仙座的亮星排列成一个横躺着的“人”字形，非常容易辨认。整个星座的星星，构成了一个少年英雄的形象。他一手提着妖魔的头颅，一手高举着宝刀，傲然地挺立在银河岸边。

其中英仙座 $\beta$ 星是著名的食变星，我国叫它“大陵五”它是颗双星，由一亮一暗两颗星组成，相互绕转。暗星转到亮星前面，亮星被遮住，大陵五就变暗了，当亮星从暗星背后转出来，我们就会看到大陵五又变亮了。这类变星叫“食变星”。它的亮度最亮时为2.2等，最暗时为3.5等，光变周期为2.867天。它的亮度像变魔术似地迅速变化着，所以被人们称为“魔星”。

当你找到英仙座后，再回头向天顶偏南方向望去，可以看到一个由四颗亮星组成的大正方形它叫“飞马座大正方形”，是秋夜星空的主角。



图 2-22 秋季大四边形

要注意四方形东北角的那颗星是仙女座 a（壁宿二）其余的那三颗才是飞马座的主星，它们三者的连线就是飞马巨大的翅膀。飞马座 a 星，也就是四方形西南角的那颗星，中文名室宿一。它和牛郎星、天津四构成一个巨大的等边三角形，这便是“秋季大三角”。

飞马座、仙女座之南是双鱼座。整个星座没有什么亮星，主星 a 也仅仅是 4 等星。在飞马座大四边形正南方有六颗小星，组成了一个不规则的多边形，这是位于西边的一条鱼，叫做“西鱼”。在仙女座的下边有五颗小星组成一个五边形，它们和其它的一些暗星组成了另一条鱼，叫做“北鱼”。在“西鱼”和“北鱼”之间，有一串星组成了一个大的“V”字形，这是连接两个鱼尾的丝带。整个星座构成了两条尾巴用绳子连接起来的鱼，它们便是神话中的美神和她的儿子小爱的化身升到天界的形象。双鱼座中亮星不多，不太容易辨认，但它位于黄道带上，是行星经常出没的地方，春分点就处在双鱼座中。双鱼座之南是巨大的鲸鱼座。它是全天第四大星座，古时的星图将鲸鱼座画成一条可怕的大鲸鱼，口中吐出一条带叉的舌头，粗大的利爪、巨大的尾巴，确实像一个兴风作浪的大妖怪。

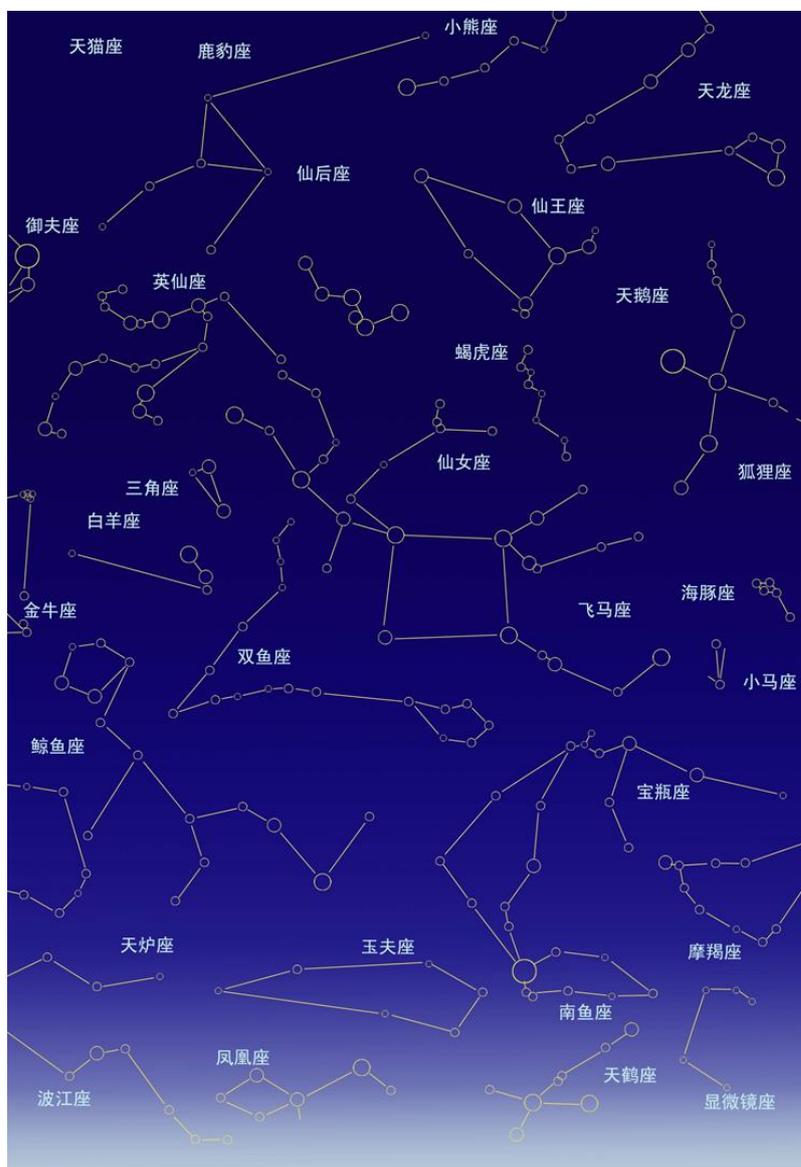


图 2-23 秋季星空

秋夜，天气初肃，星光灿烂，阴雨天少，认星条件好，那么，就请君莫失良机。

#### 4. 冬季星空

冬天的北国是冰雪的世界，刺骨的寒风带来纷飞的雪花。冬夜更是寒冷寂静，但它的星空却是那样的美丽壮观。许多有名的亮星都在这时候出现。有多少不畏严寒的天文爱好者，迎着凛冽的寒风，站在雪地上仰望天空。此时，著名的猎户座成了冬季星空的中心，它高悬在南方天空，是全天最瑰丽、亮星最多的星座。座内四颗亮星构成一个四边形，中间整齐地排列着三颗星，使这个四边形变成了具有共同短边的两个梯形那三颗星就是这条短边，称为“猎户三星”。每逢春节期间，黄昏以后，猎户三星位于正南方高空，我国民间有“三星高照新年到”的说法。紧靠猎户三星南边还有三颗等间隔排列的小星，垂直于猎户三星，民间叫它们“小三星”。猎户三星叫“大三星”，整个星座想象为一个威武的猎人，腰带上佩带着一把宝剑，手持狮头盾，高举木棒迎击冲来的红眼金牛。

我国古代把猎户座的七颗星叫做“参”，它左上方的那颗红色亮星  $\alpha$  叫参宿四，是一颗超级巨星，直径比太阳约大 900 倍。如果把太阳比作一只小帆船那么参宿四就像是万吨巨轮，它的体积虽然庞大，但平均密度却只有地球大气密度的千分之一。可以说参宿四是个“虚胖子”。

猎户座最亮的是  $\beta$  星，中名参宿七，在四边形右下方。它发出青白色的光芒，说明它是一颗高温星，表面温度  $12000^{\circ}\text{C}$  而发红色光的参宿四表面温度很低，只有  $3800^{\circ}\text{C}$  参宿七的直径是太阳直径的 60 倍，实际的亮度当于 3 万个太阳发出的光辉。比太阳多消耗 3 万倍的燃料，被人们称为“浪费家”。

猎户三星下方有一个有名的天体，猎户座大星，用小型天文望远镜就可以看到，它是由星际气体和尘埃组成，受到附近亮星的照射而发出光亮。猎户座大星云就是这样一个发光的气体星云。

由猎户三星向东南延长约七倍处，有一颗亮度很大，发青白色光的星，它就是大犬座  $\alpha$  星，我国叫天狼星。亮度 -1.4 等，是全天最亮的一颗恒星。因为它距离我们很近，只有 8.7 光年，所以显得特别亮。实际上它的亮度只是太阳的 23 倍，在宇宙中还算不上发光能力最强的恒星。天狼星是个双星，有一颗很小的伴星绕着它旋转。伴星的体积是地球的一半，而质量却是地球的 33 万倍。因此，它的密度高得惊人，假如从这颗星上取一立方米的物质放在天秤的一端，另一端就要放上一只 380 万吨的轮船才能平衡。在天狼星附近天区还有另外四颗较暗的星，它们构成了大犬的前足和后足。这个大犬座就是猎人带的一只大猎狗。

在大犬座东北的银河对岸也有一颗闪闪发光的亮星，它是小犬座  $\alpha$  星，我国叫南河三。它与猎户座参宿四、大犬座和天狼星交织成一个巨大的等边三角形，十分醒目地挂在冬夜星空，这就是著名的“冬季大三角”，小犬座内肉眼可见的为数不多，南河三和另外三颗暗星组成一个小三角形，被想象成跟随猎人身后的一只小犬。

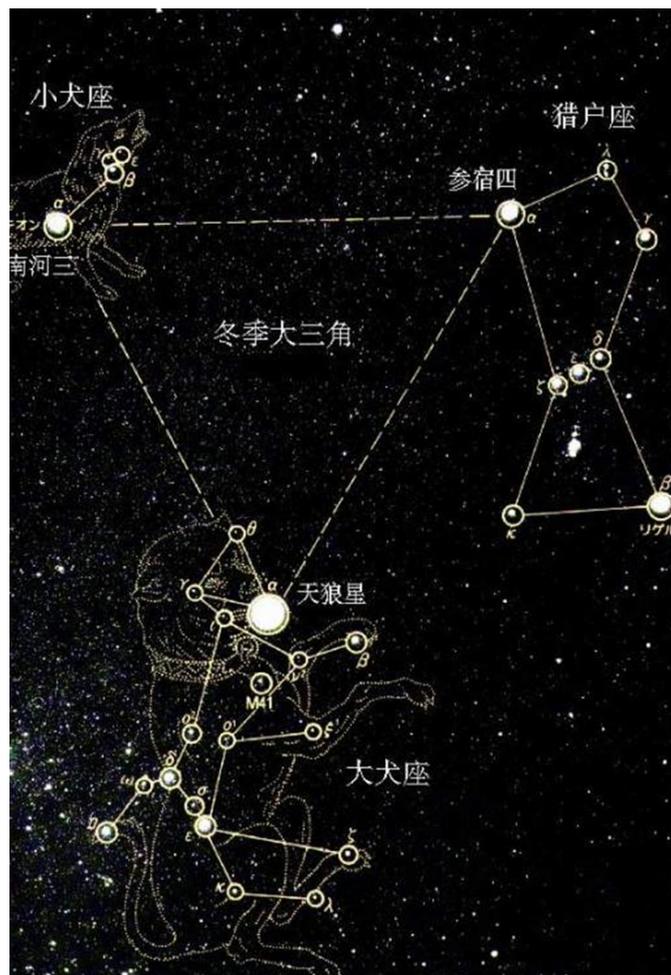


图 2-24 冬季大三角

在猎户座的南面有一个小星座，叫天兔座。座内只有 3 等星和 4 等星六颗。虽然亮星不多，但十分醒目。其中  $\mu$  星（中名屏一）是兔子的眼睛，它上而还有几颗小星与它组成了个“V”字形，是兔子的两只长耳朵。这几颗星组成了兔子的头。在后边还有几颗小星，它们共组成了兔子的身子和短小的尾巴，整个星座在猎户脚下，好似一只被大、小犬追逐的小兔子。

在猎户座的东北面有群亮星，它们组成了一个长方形，这就是双子座。双子座在古星图上被画成一对靠得很近的兄弟。其中  $\alpha$ 、 $\beta$  星，我国叫北河二、北河三。 $\alpha$  星是哥哥的头， $\beta$  星是弟弟的头。有趣的是。这一对兄弟在组成上十分相象，用小望远镜可以看出它们是两颗双星，用分光仪器分析得知，它们都是由三对双星组成的六合星，这确实是个有趣的巧合。

从猎户座向北望去，在你的头顶上空的银河中，由五颗亮星组成一个大的五边形，这就是御夫座，外国古代星图上把它画成一个放牧羊群的老人，怀中抱着一只小羊。其中最亮的  $\alpha$  星，我国叫五车二，就是小羊的化身。神话中传说，太阳神的儿子驾着金车在天空飞驶，不幸翻了车，引起了冲天大火，金车掉在地上，把地面烧得寸草不生，形成了今天的撒哈拉大沙漠。后来金车被送到天河星就成为御夫座。

御夫座星，我国叫柱一，它是一个著名的双星。是由两颗非常巨大的恒星组成的一个庞大体系。其中亮的一颗直径是太阳的二、三千倍，暗星比亮星稍

小些。如果把太阳比做一只小风筝，那么柱一就可看作是一架巨型客机。观测表明，这两颗星互相绕着转，每转一周是 27 年。

御夫座的南面，猎户座的北面是金牛座。在金牛座里有一群聚集在一起的青白色小星，肉眼一般能看到六颗，眼力好的人能看到七颗。西方叫它七姐妹星团，我国叫昴星团。这是银河系著名的疏散星团。它距离我们 410 光年，用天文望远镜观测，这个星团包含 280 颗恒星。

金牛座  $\alpha$  星是一颗红色亮星。我国叫毕宿五，是金牛座中最亮的一颗星，它表示金牛一只红了的眼睛。整个星座想象为一头凶猛的牛正低着头，瞪通红的眼，用坚硬的双角抵向猎户座的猎人。

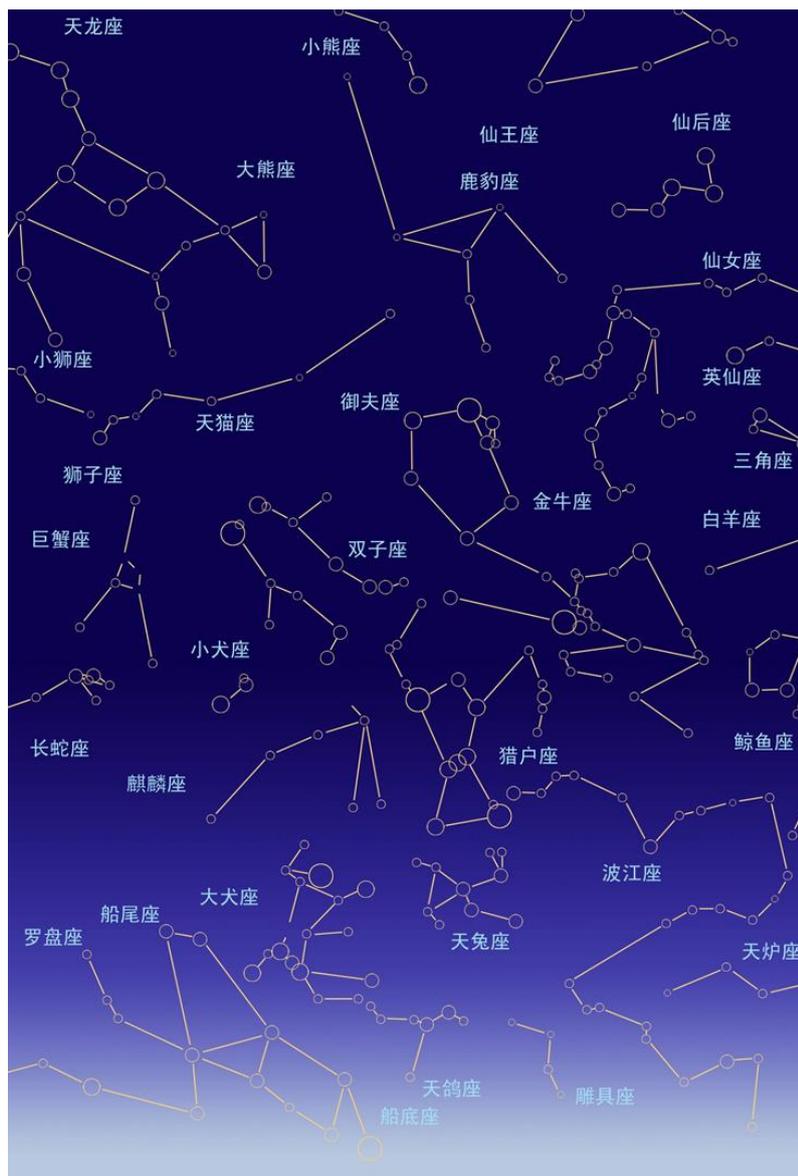


图 2-25 冬季星空

一年四季的星空我们基本上都认过了。星空就像是一部永远读不完的伟大天书，它隐藏着无穷的奥秘，等待着每个追求知识的人去阅读。

### 趣味窗—北斗七星斗柄指向与四季变化

斗柄东指，天下皆春

斗柄南指，天下皆夏

斗柄西指，天下皆秋

斗柄北指，天下皆冬

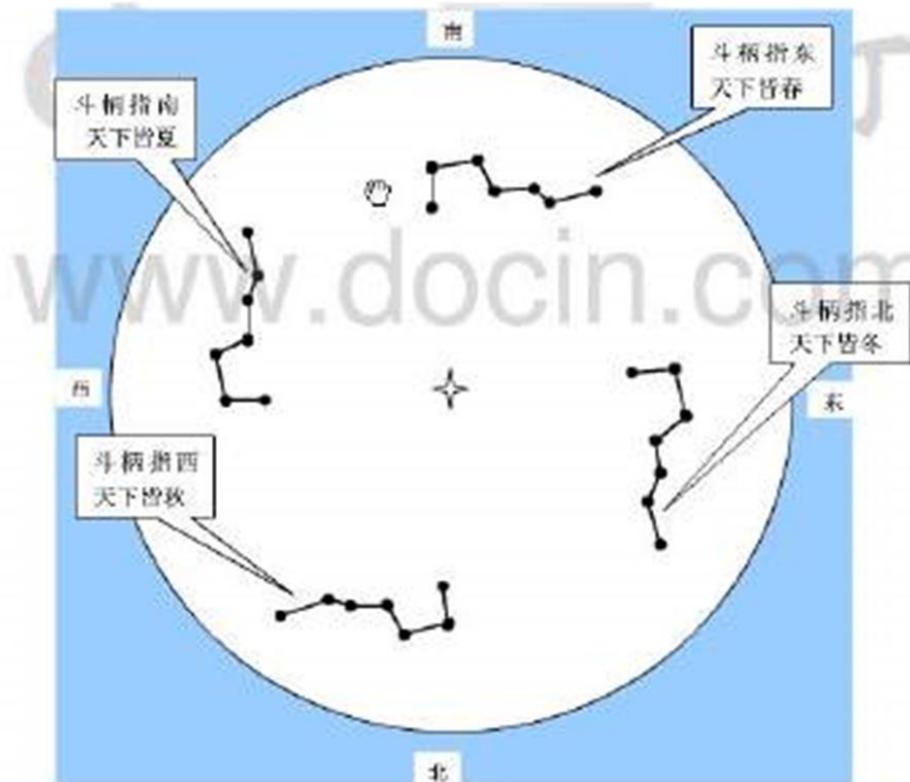


图 2-26 北斗指向与季节关系图

## 第三章 地球自公转与日月地关系

### 第一节 地球自公转证明及规律

#### 一、地球自转及证明

地球自转的证明主要有落体东偏，傅科摆实验以及地转偏向力，在这里，我们主要探讨落体东偏和傅科摆实验。

1. 落体东偏。由于地球自转的原因，垂直下落的物体相较于原来的落点位置向东运动了微弱距离，如图 3-1 物体从 AB 向下落的时候，由于惯性的存在，物体还要保持高海拔时高线速度的状态，相较于原来运动方向整体向东偏移，理论上讲，物体下落时的初速度越快，则其东移的效果越明显。

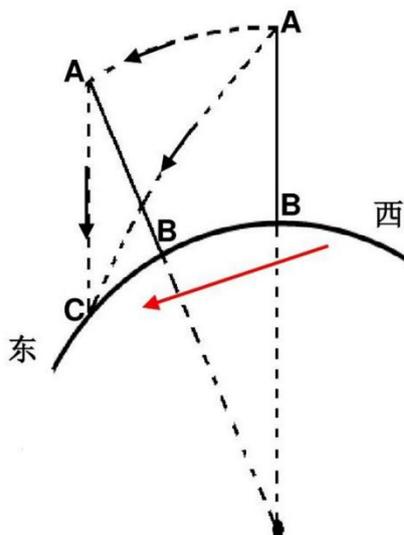


图 3-1 落体东偏

2. 最雄辩和直接的证据，当推法国物理学家傅科（1819-1860）在巴黎进行的摆的实验，傅科用一个特殊的单摆，让在场的观众亲眼看到地球在自转，从而巧妙的证明了地球自转现象。傅科摆的特殊结构都是为了使摆动平面不受地球自转牵连以及尽可能延长摆动时间。为了使摆的持续时间达到足够长度，以便能够清楚的看出地球自转的效果，傅科摆比普通单摆大的多，傅科用一根 67 米长的钢丝绳为为摆长，上端系在教堂大厅的穹顶上，下端连接一个 27 千克重的金属球，摆针摆出的痕迹证明地球在自西向东自转。当傅科摆摆起，若干时间后，在北半球的人们会发现摆动平面发生顺时针偏转，而在南半球摆动平面就发生逆时针偏转。后人为了纪念他，把这特殊的单摆叫做傅科摆。

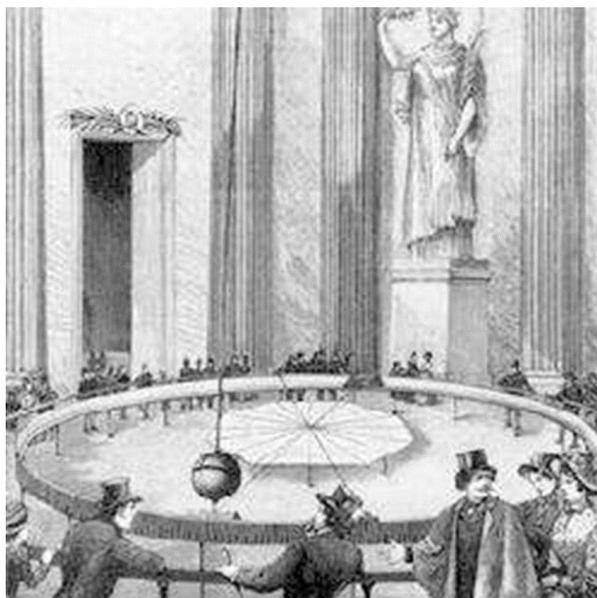


图 3-1 1851 年法国圆顶大厦

## 二、地球自转的规律

1. 地球自转的方向。地球的东西方向是以地球自转方向确定的，因此正确实际地球的自转方向是十分必要的，事实上无论是地球上的东西方向或是天球上的东西方向，都是从地球自转方向引申出来的，人们把顺地球自转的方向定义为自西向东方向，把逆地球自转的方向定义为至东向西的方向，由于天球的运动方向与地球的自转方向相反，因而日月星辰周日视运动方向为自动向西方向，在北半球上空看地球的自转是逆时针方向的，而在南半球上空看地球自转方向都是顺时针方向的，显然这与傅科摆的偏转方向是恰恰相反的。

2. 地球自转的速度可以分为角速度和线速度，对于地球来说，地球上除南北极点外，地球上的角数多都是一样的，为每小时 15 度，而线速度遵循着从赤道向两极递减的规律。

3. 地球自转的周期，选择不同参照物具有不同的自转周期，他们分别是恒星日、太阳日和太阴日。

(1) 恒星日，以天球上某个恒星或者春分点作为参照点所测定的地球自转周期称为恒星日，即某地经线连续两次通过某一恒星，恒星日常 23 小时 56 分 4 秒，这是地球自转的真正周期，即地球恰好只转了 360 度所用的时间，如果把地球自转速度极为微小的变化，则恒星日为常量。

(2) 太阳日，以太阳中心做参考点测定了地球自转周期称为太阳日，其日地中心连线连续两次与某地经线相交的时间间隔，太阳日的平均日常为 24 时，是地球昼夜更替的周期，太阳日之所以比恒星日平均长 3 分 56 秒是由地球公转下，日地连线向东偏移导致。

(3) 太阴日，月球中心做参考点测定的地球自转周期称为太阴日，其月心连续两次通过某第 5 圈的时间间隔，太阴日平均值为 24 小时 50 分钟，这是潮汐日变化的理论周期。太阴日常于恒星日是由于地月球绕地球公转时月地连线东边所致，一个太阴日地球公转  $373^{\circ} 38'$ ，比恒星日多转了  $13^{\circ} 38'$ ，同样因月球轨道为椭圆，其公转角速度也是不均匀的。

## 三、地球自转的地理意义

1. 天球的周日运动天球的周日运动是地球自转的反应，能把天球上的日月星辰至东向西的系统形式运动叫做天球的周日运动，“天旋”只是假象，实质就是“地转”。

2. 昼夜的交替，由于地球不停自西向东旋转，使得昼夜半球和晨昏线也在不断自东向西移动，这样就形成了昼夜的交替，有了昼夜的交替，使太阳可以均匀的加热地球，为生物创造了适宜的生存环境，也使地球上的一切生命活动和各种物理化学过程都具有明显的昼夜变化，如生物活动的昼夜变化，植物的光合作用与呼吸作用昼夜交替、气象要素的日变化。

3. 由于地球自转，导致地球上作任意方向运动的物体，都会与其运动最初方向发生偏离，若以运动物体前进方向为准，北半球水平运动物体偏向右方，南半球则偏向左方，造成地表水平运动方向偏转原因是由于物体具有惯性，力图保持其原有的运动的速率和方向而且与线速度有超大的联系，纬度越低，线速度越大。

## 趣味窗—地球自转在变慢!

你们知道吗? 地球自转速度一直以来是在减缓的! 人们最早利用地球自转一周的时间“日”作为计量单位, 如果地球自转速度变化, 势必会影响到日常的“时间”。20 世纪以来, 由于天文观测技术的发展, 人们对地球自转变慢的观测也越来越明显。1967 年, 国际上开始建立比地球自转的时间更为精确和稳定的原子时, 由于原子时的使用, 人们发现地球自转是不均匀的, 而且趋向于变慢的! 如果在 2000 年前, 有一个严格与当时地球自转同步的理想钟表, 一直保持当年的走势不变, 那么它的走时要比现在的钟表要快 11688 秒, 即 3h5m。而且科学家从古珊瑚化石的生长线的研究得知, 3 万 7 千万年前, 每年约有 400 多天, 差不多是目前自转周期的十分之九。根据古代日月食的记载, 由于潮汐摩擦, 地球的自转周期每世纪会变长 0.0016 秒, 这个变化虽然渺小, 但日积月累, 变化却十分明显, 根据这一规律, 今天的日长要比 2000 年前日长 0.032 秒。由于进入间冰期, 目前这一段天文年代里, 地球的自转总是趋于变慢。所以在时间交流上, 用原子时协调太阳时, 具体做法: 跳秒或闰秒来适应地球自转速度的变化。

## 四、 地球公转的证明

1. 恒星周年视差位移。从不同地点观测同一目标, 这个目标就会有不同的方向体现, 它的天球背景上有不同的位置。地球绕太阳公转, 在空间走过一个直径为 3 亿千米的圆形轨道, 这样巨大的位移势必会引起恒星相对于天球背景的时差位移, 地球公转以一年为周期, 恒星的时差位移也以一年为周期。

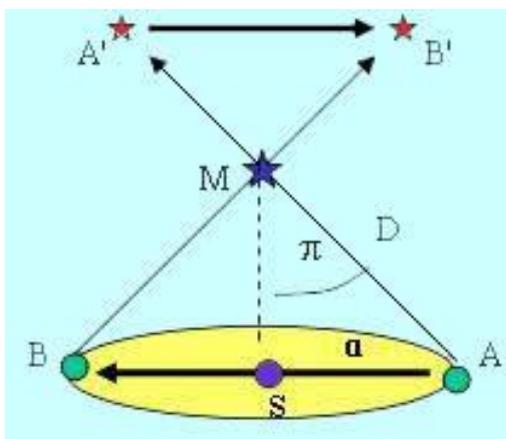


图 3-2 恒星周年视差位移

2. 恒星光行差位移。地球公转的另一个物理证据是光行差, 它是地球公转

轨道速度对于光速的影响，地球沿轨道方向运动，使它与恒星发生相对运动，在地球上的观测者看来，来自恒星的光线以每秒 3 万千米的速率投向地球，同时又以每秒 30 千米的速率做平行于轨道面的运动，这样地球上所看到的星光的视方向实际上是这两种运动的合成方向，因而不同于星光的真方向，视方向与真方向之间存在的一定的偏移，这就是恒星的光行差位移（与雨行差相似）。

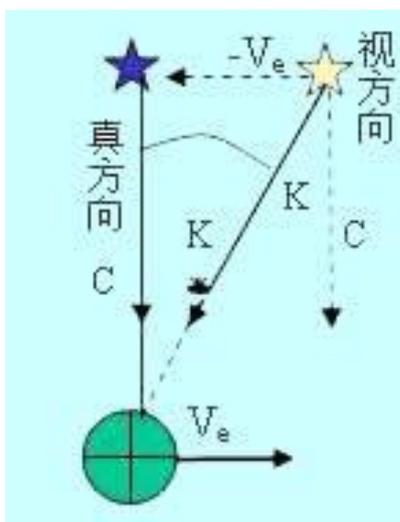


图 3-3 恒星光行差

3. 多普勒效应在地球公转中的体现。此外地球绕太阳公转使地球与恒星发生相对运动，对于特定时间来说，地球向一部分恒星接近，而从另一部分恒星离开，对于特定恒星来说，地球半年向它接近，半年从它离开，总之地球公转使恒星谱线以一年为周期，交互发生红移与紫移现象。

## 五、地球公转的规律

1. 公转轨道。轨道为椭圆，日地平均距离为 1.496 亿 km（一个天文单位 AU），近日点时，日地距离为 1.471 亿 km，远日点时，日地距离 1.527 亿 km。由于受太阳系其他天体的影响，近日点每年东移  $11''$ ，因此，以近地点为参考点，一年时间长了一些，地球过近日点（或远日点）的日期，每 57.47 年推迟一天。

2. 速度。地球在近日点时公转线速度最大（30.3 km/s），角速度最大，为  $61' 10''/d$ ；地球在远日点时公转线速度最小，为 29.3 km/s，角速度最小，为  $57' 10''/d$ ；地球公转的平均线速度为 29.78 km/s，平均角速度为  $59' 08''/d$ ；只有地球向径单位时间扫过的面积速度始终不变。

3. 地球公转的周期。地球绕日公转的周期统称为“年”。在天球上选择不同的参考点就有不同的年，如：恒星年、回归年、食年、近点年等，它们对应的参考点分别为：恒星、春分点、黄白交点、近日点等。下面以太阳为天球中心讨论地球公转的周期。

（1）恒星年。太阳中心连续两次通过黄道上同一恒星的时间间隔，称为恒星年。年长为 365.2564 日。由于恒星参考点是天球上的固定点，因此恒星年是地球公转的真正周期。1 个恒星年等于 365.2536 太阳日。

(2) 回归年与春分点西移。回归年是指太阳中心连续两次通过春分点所经历的时间，年长为 365.2422 个平太阳日。回归年之所以比恒星年短（二者之差古人称为岁差），是因为春分点每年沿黄道西移  $50''.29$ ，使平太阳或视太阳与春分点会合实际只公转了  $359^{\circ}59'9''.71$ ，回归年是季节更替的周期。春分点西移是地轴进动的后果之一。

(3) 食年与黄白交点西退。太阳中心连续两次通过同一个黄白交点的时间间隔，称为食年（或叫交点年），年长为 346.6200 日。食年比恒星年短 18.6364 日，是由于太阳对地、月的差异吸引产生的外加力矩，致使黄白交点每年西退  $19.344^{\circ}$  所致。食年与日月食的周期有密切关系。

(4) 近点年及近日点东移。太阳中心连续两次通过天球上近日点投影所经历的时间间隔数，称为近点年。地球的近日点由于长期摄动，每年东移约  $11''$ ，所以近点年比恒星年约长 5min；其长度为 365.25964 天，即 365d6h13min53.6s，主要用于研究太阳运动。

## 六、地球公转的地理意义

由于地球的公转，引起了天体的周年视运动、昼夜长短的变化、四季的变化、五带的形成这一内容在高中地理课本有涉及，不展开探讨。

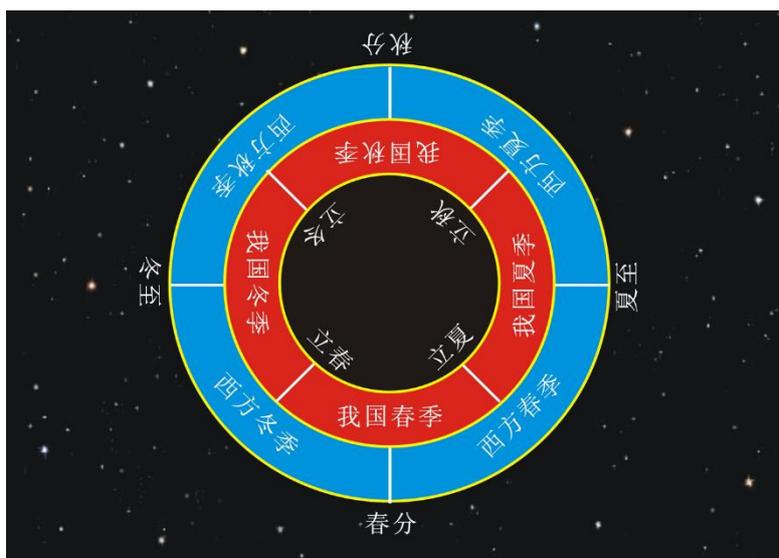


图 3-4 我国四季与西方四季的差异

### 趣味窗—二十四节气歌

春雨惊春清谷天，夏满芒夏暑相连。

秋处露秋寒霜降，冬雪雪冬小大寒

二十四节气兼具天文季节和气候季节的特点，并兼顾农事：

立春、惊蛰、清明、立夏、芒种、小暑、立秋、白露、寒露、立冬、大雪

和小寒等 12 个节气;：雨水、春分、谷雨、小满、夏至、大暑、处暑、秋分、霜降、小雪、冬至和大寒等 12 个中气。“节气”和“中气”统称为“节气”，即二十四节气。

## 第二节 日月地关系

### 一、地球公转的地理意义

在中国古代神话中，关于月亮的故事数不胜数。在古希腊神话中，月亮女神的名字叫阿尔忒弥斯，她是太阳神阿波罗的孪生妹妹，同时她也是狩猎女神。月球的天文符号好像弯弯的月牙儿，象征着阿尔忒弥斯的神弓。

月球是离太阳最近的一颗天然卫星，也是太阳系里很特别的一颗卫星，它因为是目前已知唯一存在生命的地球的卫星而大放异彩，关于月球的起源，有“姐妹说”、“母女说”、“情人说”，可以看到的是，无论那种学说，月亮和地球具有密不可分的联系，关系十分密切。它与地球的平均距离约 384400km（视直径 31' 4"）。月球绕地球运动的轨道是一个椭圆形轨道，其近地点（离地球最近时）平均距离为 363300km（视直径 324' 6"），远地点（离地球最远时）平均距离为 05500km（视直径 29' 22"），两者相差 42200km。

月球比地球小，直径是 3476km，大约等于地球直径的 3 / 11。月球的表面面积大约是地球表面积的 1 / 14，亚洲的面积还稍小一些。月球的体积是地球的 1 / 49，换句话说，地球里面可装下 49 个月亮。月球的质量是地球的 1 / 81；平均密度为 3.34g / cm<sup>3</sup>，只相当于地球密度的 3 / 5。月球上的引力只有地球的 1 / 6。也就是说，6kg 重的东西到月球上只有 1kg 重了。人在月面上行走，身体显得很轻松，稍稍一使劲就可以跳起来。

月球上几乎没有大气，因而月球上的昼夜温差很大。白天，在阳光垂直照射的地方，温度高达 127℃；夜晚温度可低到 183℃由于没有大气的阻隔，使得月面上日光强度比地球上强约 1 / 3；紫外线强度也比地球表面强得多。由于大气少，因此在月面上会见到许多奇特的现象。如月球上的天空呈暗黑色，太阳光照射是笔直的。日光照到的地方很明亮，照不到的地方就很暗，因此才会看到月亮的表面有明有暗。由于没有空气散射光线，在月球上星星看起来也不再闪烁了。

月球上基本没有水，也就没有地球上的风化、氧化和水的腐蚀过程，也没有声音的传播，到处是一片寂静的世界。月球本身不发光，天空永远是一片漆黑，太阳和星星可以同时出现。月面上山岭起伏，峰峦密布。没有火山活动，也没有生命，是一个平静的世界。

早年的观测者凭借想象，借用地球上的名称，命名了许多洋、海、湾、湖、月海是肉眼所看到的月面上的暗淡黑斑，它们是广阔的平原。在月球正面，月海面积约占整个半球表面积的一半。已经命名的月海有 22 个，总面积 500 万平方千米。从地球上看到的月球表面，较大的月海有 10 个。位于东部的是风暴洋、雨海、云海、湿海和汽海，位于西部的是危海、澄海、静海、丰富海和酒海。这些月海都为月球内部喷发出来的大量熔岩所充填；某些月海盆地中的环形山，也

被喷发的熔岩所覆盖，形成了规模宏大的暗色熔岩平原。因此，月海盆地的形成以及继之而来的熔岩喷发，构成了月球演化史上最主要的事件之一。

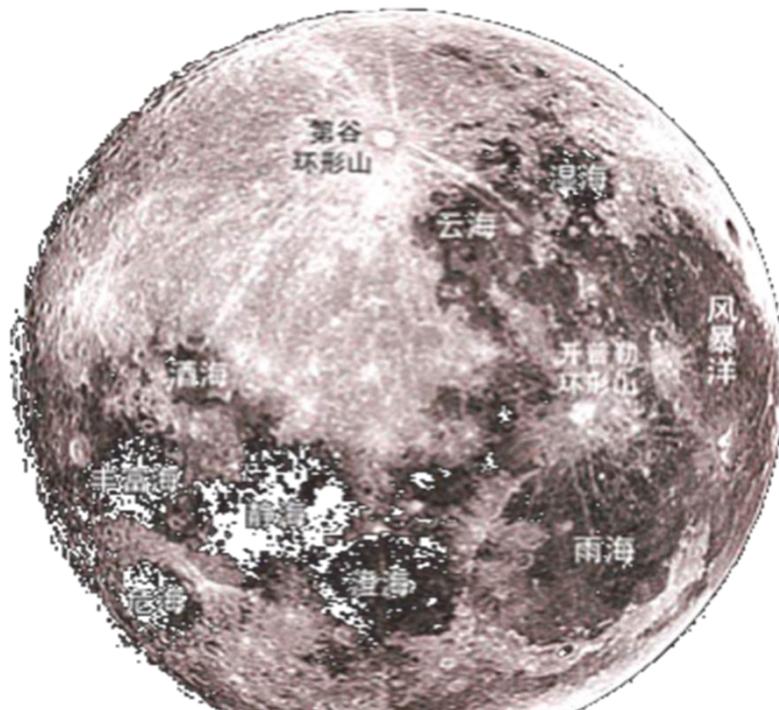


图 3-5 月球正面的月海

月球上的陨击坑通常又称为环形山，它是月面上最明显的特征。环形山，希腊文的意思是“碗”，所以又称为碗状凹坑结构。月球上大型环形山多以古代和近代天文学者的名字命名，如哥白尼、开普勒、埃拉托塞尼、托勒密、第谷等。环形山的形成可能有两个原因，一是陨星撞击的结果，二是火山活动；但是大多数的环形结构均属于陨星的撞击结果。1924 年，吉福德曾把月坑同地球上的陨石坑作了比较，证实了月坑是陨星撞击形成的。因此陨击作用是形成现今月球表面形态的主要作用之一。



图 3-6 月球正面的月海

许多大型环形山都具有向四周延伸的辐射状条纹，并由较高反射率的物质所组成，形成波状起伏的地形，外延可达数百公里。环形山周围有溅射出来的物质形成的覆盖层；溅射的大块岩石又撞击月球表面，形成次生陨击坑。由于反复的陨星撞击与岩块溅落，以及月球内部喷出的熔岩大规模泛滥，使得许多陨击坑模糊不清，或只有陨击坑中央的尖峰露出覆盖熔岩的表面。从叠加在月海上的陨击坑的状况判断，并且从月球上带回样品的放射性年龄测定表明，月海物质大致是与陨击坑同时期形成的。



图 3-6 月球的辐射纹

## 二、月球的运动

月球和地球共同围绕着它们的公共质心运转不息，构成了地月系。其质心离地心约 4671km。因此，环绕质心与环绕地心的椭圆轨道相差不大。月球在环绕地球作椭圆运动的同时，也伴随地球围绕太阳公转。月球不但处于地球引力作用下，同时也受到来自太阳引力以及太阳系其他大行星的引力影响，所有这些都，导致月球的轨道运动变得十分复杂。

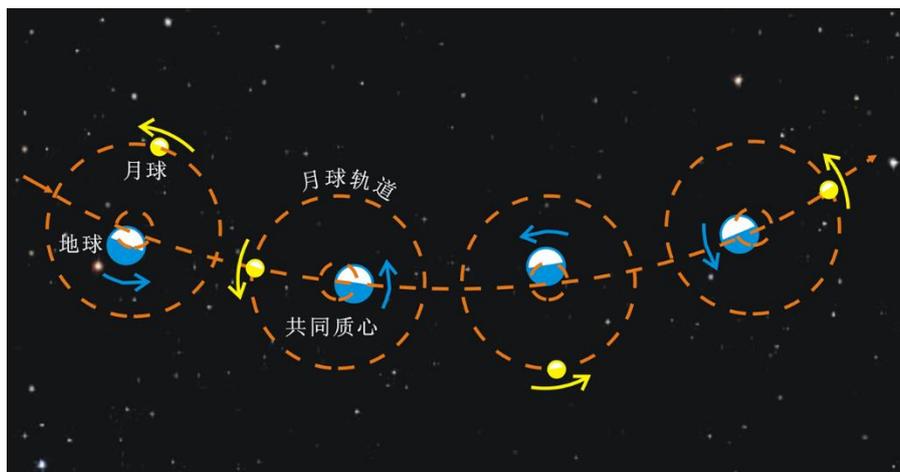


图 3-6 地月共同质心示意图

1. 轨道。月球绕地球公转的轨道是一个椭圆（地球位于椭圆的焦点之一），偏心率约为 0.0549，近地点为 363 300km，远地点为 405 500km，二者相差 42 200km，由于这种距离上的变化，在地球上的人看月球的视半径变化在  $16' 46'' \sim 14' 41''$  之间，近地点时月轮较大，远地点时月轮较小。月地平均距离为 384 400km。

月球公转轨道如若投影到天球上称为“白道”，白道对黄道的倾角称为“黄白交角”，变化在  $4^{\circ} 57' \sim 5^{\circ} 19'$  之间，平均值为  $5^{\circ} 09'$ 。由于黄白交角的存在，月球在绕转地球的同时，往返于黄道南北；同时，由于黄白交角的存在，月球在绕转地球时，其赤纬也在不断改变，变化幅度大约  $\pm 5^{\circ} 9' \sim \pm 23^{\circ} 26'$ ，即在地球上的月球直射点可达赤道南北  $28^{\circ} 35'$ 。

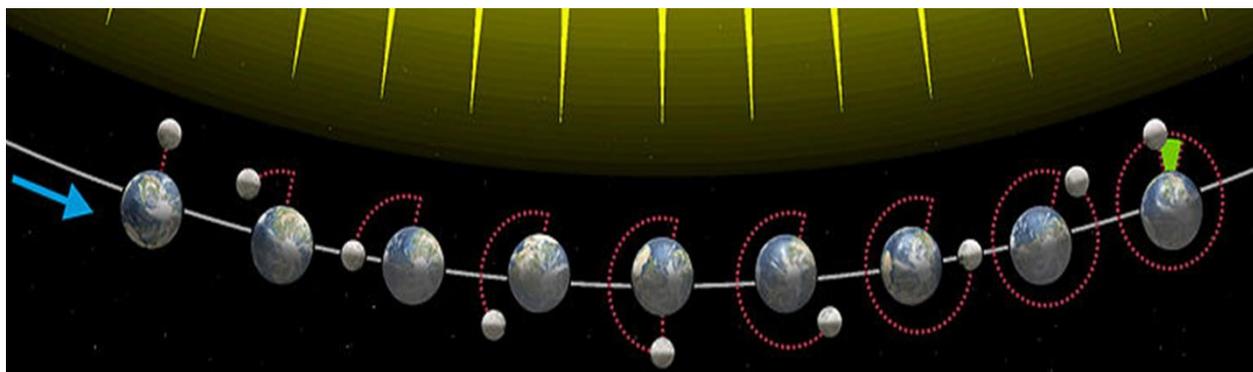


图 3-7 月球随地绕日公转示意图

2. 周期。月球绕转地球的周期，笼统地可以说是一个月，但由于选用参考点不同，周期长度有区别。常见的几种介绍如下：

(1) 朔望月。以太阳为基准的、月球盈亏的周期，平均 29.5306 日。这个周期很久以前就是中国古代历法的基础。

(2) 恒星月。以恒星位置为基准的周期，平均为 27.3217 日。中国早在西汉的《淮南子》一书中就已得到恒星月周期为 27.32185 日，可见当时已达到很高的精度。若把恒星看成不动，可以认为恒星月是月球绕转地球的真正周期。根据恒星月的长度，可以计算出月球绕转地球的平均角速度为每日  $13^{\circ} 10'$ ，或每小时  $33'$ 。这个  $33'$  的角度大体上与月球本身的视直径相当。换句话说，月球每小时在天空中移动约等于月轮的视圆面。但由于地球的自转，天体在天球上有周日视运动，所以月球以每小时  $15^{\circ}$  的速度向西随天球作周日运动，又以每小时  $33'$  的速度向东运动。其合运动的结果是月球在天球上有每日东移现象的原因（古人称“徘徊”）。

(3) 交点月。以黄道和白道的交点为基准的周期，平均为 27.2122 日。在我国南北朝时代，祖冲之推算的交点月周期与近代数值就相当接近。

(4) 近点月。以近地点为基准的周期，平均为 27.5546 日。在中国东汉时代，贾逵就发现近点月周期，并由刘洪首次测定其长度为 27.5548 日，与今日测值相差无几。

(5) 分点月（又称回归月）。以春分点为基准的周期，平均为 27.3216 日。

3. 同步自转。月球在绕转地球的同时，也有自转。月球的自转与它绕转地球的公转，有相同的方向（向东）和相同的周期（恒星月），这样的自转称为同

步自转。月球自转周期恰好是月球绕地球转动的周期，这种现象则是地月系长期潮汐作用的结果。正是由于这个原因，地球上人们所见到的月球，大体上是相同的半个球面。

## 第四章 月相、日月食和潮汐与人类

### 第一节 月相与日月食

#### 一、月相

关于月球的幻想，苏轼在《水调歌头》中写道“人有悲欢离合，月有阴晴圆缺，此事古难全”唐代的张继在《枫桥夜泊》中“月落乌啼霜满天，江枫渔父对愁眠。姑苏城外寒山寺，夜半钟声到客船。”形象地写出了月相与实践的契合点。



图 4-8 月相的变化

“月有阴晴圆缺”。它时面一钩斜挂，时面冰轮圆涌；残月消逝以后，新月总是如约而来，从不违约。月亮的这种圆缺变化称为月相。总体来看，月相的成因有两方面，一是月球本身不发光，只反射太阳光；二是月绕地转的同时又随地绕日转，使三者位置不断变化(月球相对太阳的视位置变化)而造成月相的变化。

依月球公转周期（恒星月）可求出月球公转平均角速度：

$$360^{\circ} \div 27.3217 \text{ 日} = 13.2^{\circ} / \text{日} \quad (0.5' / \text{小时})$$

由于地球的自转，月球以每小时  $15^{\circ}$  的速度向西随天球周日运动，又由于月球的公转，平均每天自西向东移行了  $13.2^{\circ}$ ，约需 52 分钟，所以月球每日出没地平的时间平均向后延迟 52 分钟。既有前进，又有后退。这就是我们日常所见明月当空逐日推迟的道理，我国古代文人学士形象地称为“徘徊”。

由于月球绕地公转的角速度为每小时  $0.5'$ ，这个角度大体上与月球本身的视直径相当。也就是说，月球每小时在天空中移动的距离，约等于月轮的圆面。考虑到太阳公转和月球公转运动：月球绕地的角速度为  $13^{\circ} 10' / \text{日}$ ，太阳周年运动速度为  $59' / \text{日}$ ，二者相差：

$$13^{\circ} 10' / \text{日} - 59' / \text{日} = 12^{\circ} 11' / \text{日}$$

此即月球相对于太阳的会合速度，月球以此速度赶超太阳的周期为：

$$360^{\circ} \div 12^{\circ} 11' = 29.53(\text{日}) \text{——朔望月}$$

当月球与太阳处于地球的同侧、即日月合朔（农历初一）时，作为地球上的观测者来说，面对地球的是月球的黑暗半球，叫新月，它携日升落，夜晚在天空中见不到它的影子。

当月球和太阳分处地球两侧，即日月相望（农历十五）时，太阳照射月球的方向，与地球上观测月球的方向相同（月食），人们看到的是一轮银盘似的满月。它在天空中与太阳相距  $180^{\circ}$ ，此起彼落，日月轮番照耀大地，因而满月通宵达旦可见。

由新月变为满月的过程中，当月球绕行其轨道的  $1/4$  行程时，叫上弦（农历初八）。这时，太阳照射月亮的方向与地球上观测月球的方向垂直，人们看到的月亮明暗各一半，叫上弦月，它在天空中东距太阳  $90^{\circ}$ ，继日而入，上半夜见于西部天空。

同理，满月变为新月的过程中的下弦月（农历二十三），西距太阳  $90^{\circ}$ ，先日而出，后半夜见于东方夜空。

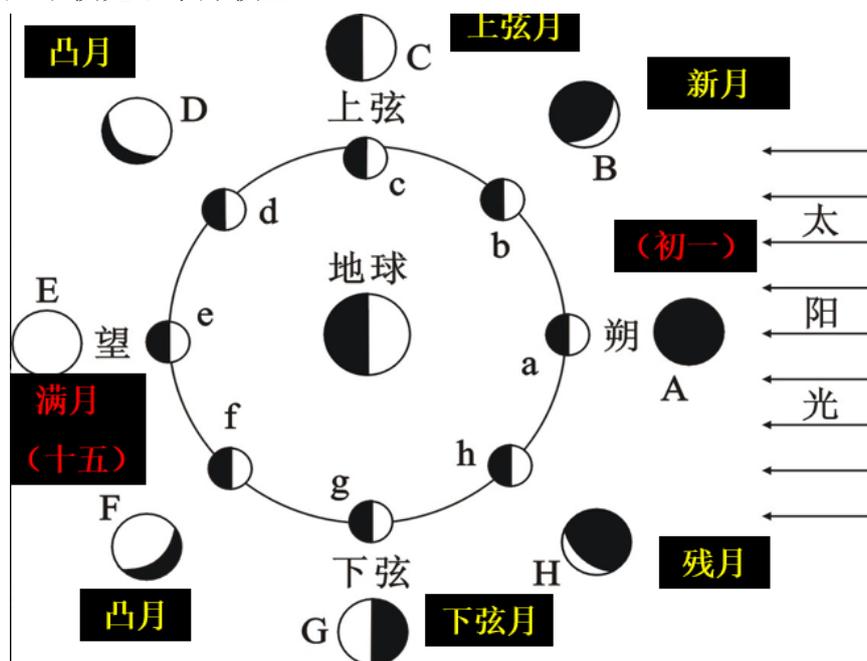


图 4-9 月相变化示意图

## 趣味窗一月相、方位和时刻

| 月相  | 距角   | 与太阳出没 | 月出 | 中天 | 月落 | 见月时间  |
|-----|------|-------|----|----|----|-------|
| 新月  | 0°   | 同升同落  | 清晨 | 正午 | 黄昏 | 彻夜无月  |
| 满月  | 180° | 此起彼落  | 黄昏 | 半夜 | 清晨 | 通宵见月  |
| 上弦月 | 90°  | 迟升后落  | 正午 | 黄昏 | 半夜 | 上半夜西天 |
| 下弦月 | 270° | 早升先落  | 半夜 | 清晨 | 正午 | 下半夜东天 |

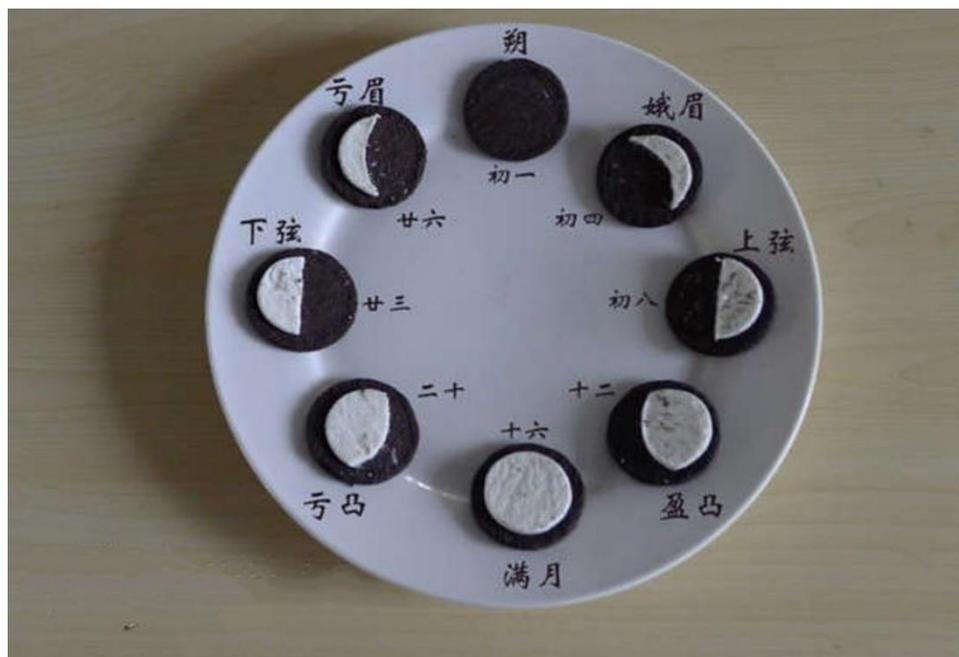


图 4-10 附中学子用奥利奥饼干模拟月相变化

## 二、日月食

日食和月食是日月地三天球运行到某个位置并在某个时段所发生的一种天文现象。日食和月食统称为交食。当古人不了解日、月食的道理时，曾产生过各种迷信和传说，如“天狗食日”、“蟾蜍食月”等，有的则把这天象看成是不祥之兆，甚至极大地扰乱过人们的社会生活。然而，时至今日，一些缺乏相关天文知识的人，对日、月食现象还是有恐慌和惧怕的心理。因此，有必要对交食的有关情况和原理加以认识。

## 1. 日月食成因和种类

(1) 天体的影子。自身不发光的、且不透光的天体，在光的照射下，均会产生影子。例如，太阳能够发光，而地球和月球不会发光。当阳光照射到地球或月球上时，其后会有一个投影，影子的结构可分为三部分，即：①投影的主体，指顶端背向太阳的会聚圆锥，称为本影；②本影延伸，是一个与本影同轴而方向相反的发射圆锥，称为伪本影；③在本影和伪本影的周围是一个空心发散圆锥，称为半影。在本影里，阳光全部被遮；在伪本影里，太阳中间部分的光辉被遮；在半影里，部分阳光被遮。

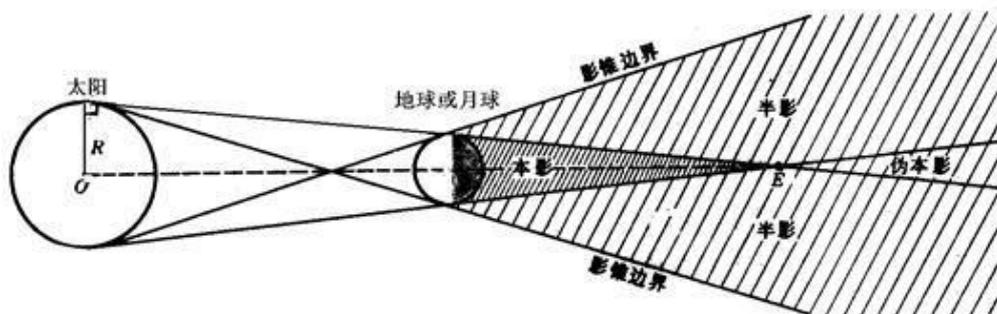


图 4-11 天体的影锥

天体投影的大小和长短是变化的，它取决于发光天体和投影天体的大小以及它们之间的距离。由于太阳系日、地、月三者的大小是基本固定的，所以，月、地投影的范围主要由日地距离以及月地距离所决定。一般来说，两者的距离越大，投影就越长。

地球比月球大得多，若地球处在日地平均距离上，其本影长达 1 377 000km，而月地平均距离只有 384 400km，月球要是始终在这个平均位置上，地球本影的截面比月球大圆的截面大得多。因此，月球完全有可能整个进入地球的本影和半影，发生月全食和月偏食。月影笼罩在地球上，发生日偏食或日全食或日环食。而实际上，日地有近日点和远日点，月地有近地点和远地点，所以月球不可能总是进入地本影；月影也不可能笼罩整个地球，只能在地球上的部分地区扫过。无论日、地、月之间的距离怎样变化，地球的本影总比月地距离长得多，所以月球不可能进入地球的伪本影。

综上所述，当地球上部分地区进入月影时或月球的影子落在地球部分区域时，那里的人就可以看到日食；当月球进入地影时或地球的影子遮掩月球时，地球上向月半球的人就会看到月食。

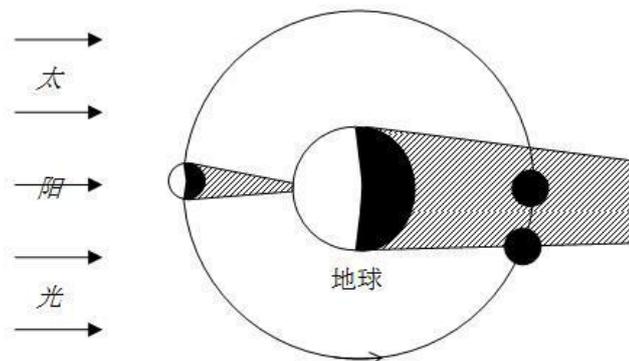


图 4-12 月食示意图

(2) 日月食的种类。根据上述影锥的讨论，不同种类的日月食与日月地三者绕转的位置以及它们之间的距离变化有关。日食种类有全食、偏食和环食；月食种类只有全食和偏食。

## 2. 日月食过程

在日、月食的过程中，全食最为完整。一次全食，它必然经过初亏、食既、食甚、生光和复圆五个阶段。

(1) 日全食过程。太阳在黄道上自西向东运行，每天运行约  $59'$ ；月球在白道上也自西向东运行，每天运行  $13^{\circ} 10'$ 。它们运行的方向基本一致（因黄白交角存在  $4^{\circ} 57' \sim 5^{\circ} 19'$  的变化），但月球运行的速度快得多。因此，日食总是以月轮的东缘遮掩日轮的西缘开始，被遮部分总是逐渐向东推移。所以，日全食五个环节是在日轮上自西向东出现的。

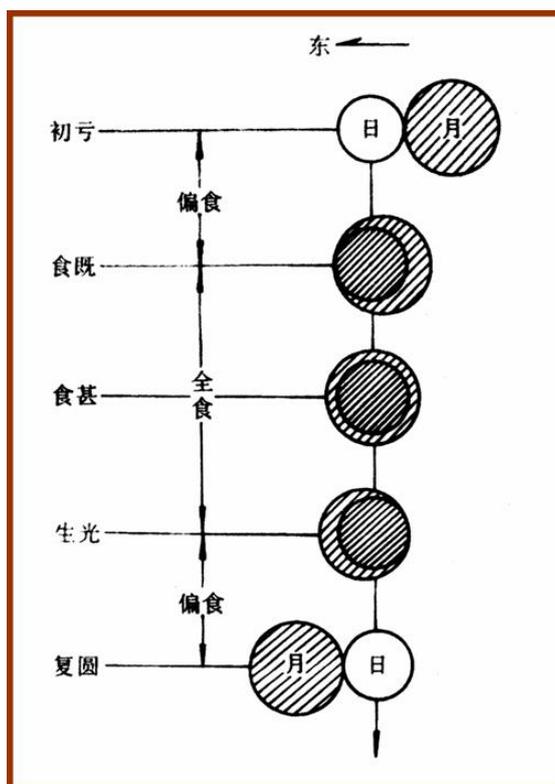


图 4-12 日全食过程图

初亏—月轮东缘与日轮西缘相外切，即日食开始。

食既—月轮东缘与日轮东缘相内切，即日全食开始。

食甚—月轮中心与日轮中心最接近或重合。

生光—月轮西缘与日轮西缘相内切，即日全食结束。

复圆—月轮西缘与日轮东缘相外切，日食结束。

(2) 月全食过程 由于月球是自西向东进入地影，所以月全食总是从月轮的东缘开始，在月轮的西缘结束。因此，月全食五个环节是在月轮上自东向西出现的。

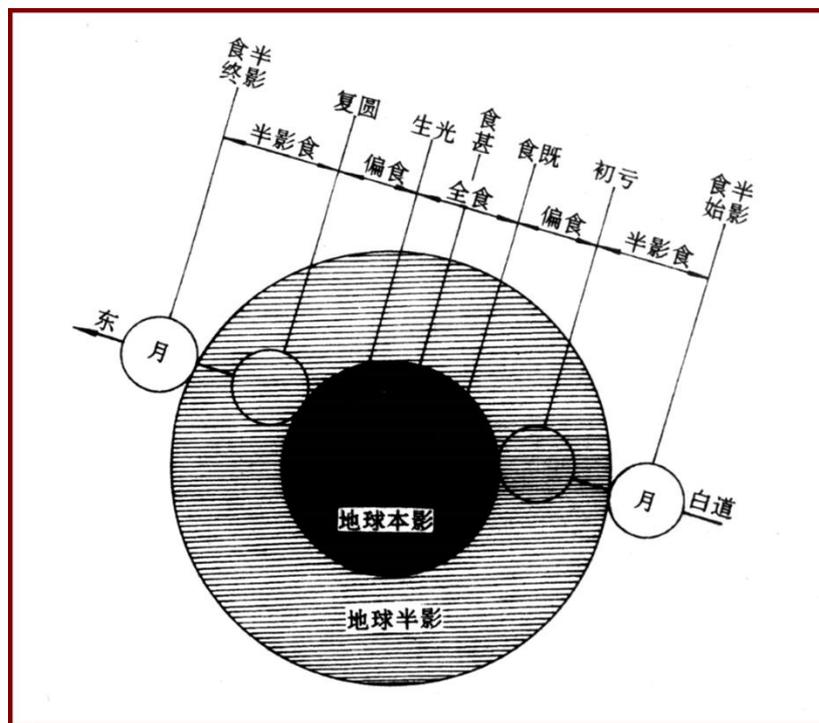


图 4-13 月全食过程

初亏一月轮东缘与地球本影截面的西缘相外切，即月偏食开始。

食既一月轮西缘与地球本影截面的西缘相内切，即月全食开始。

食甚一月轮中心与地球本影截面中心最接近或重合。

生光一月轮东缘与地球本影截面的东缘相内切，即月全食结束。

复圆一月轮西缘与地球本影东缘相外切，月食结束。

## 第二节 潮汐与人类

### 三、潮汐

#### 1. 潮汐的成因与现象

我国古代人民这样定义潮汐：白天里出现的海水涨落称为“潮”，而把夜晚出现的海水涨落称为“汐”。而官方准确定义为：地球上各处的海水受到月球和太阳的引力，而使海水产生周期性上升和下降，这种海水的物理现象称之为海洋潮汐，简称为“潮汐”习惯上把海面垂直方向涨落称为潮汐，而海水在水平方向的流动称为潮流。潮汐的主要成因是天体引潮力，包括月球及太阳的天体引力和

地球自公转的惯性离心力。总体上看，潮汐可以分为：海洋潮汐、大气潮汐和固体潮汐三大类。同时潮汐具有周期性和长时间的特点。

涨潮(flood tide)就是海面上升，落潮(ebb tide)就是海面下降。当海面升到最高时，称为高潮(high water, HW)；当海面降到最低时，称为低潮(low water, LW)。

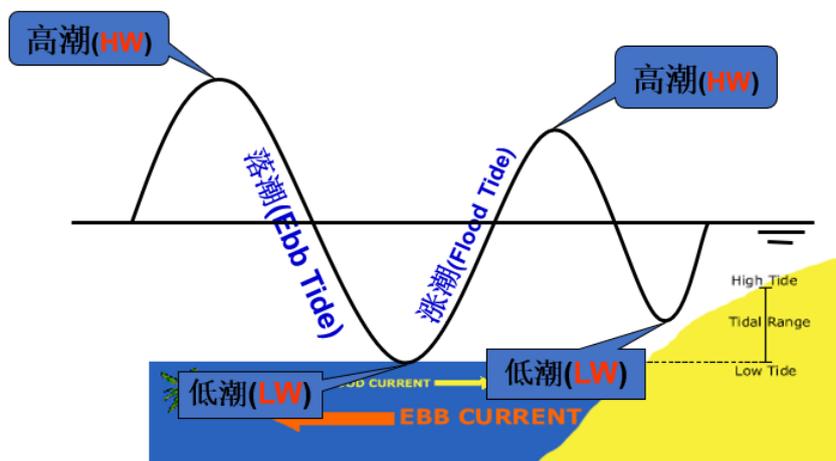


图 4-14 潮汐示意图

潮汐不等现象包括周日不等、半月不等和视差不等现象，我们主要探讨周日不等和半月不等。周日不等现象如图 3-15，发生时间为一个太阴日，潮汐周期为 12h24m，我们称之为半日潮。

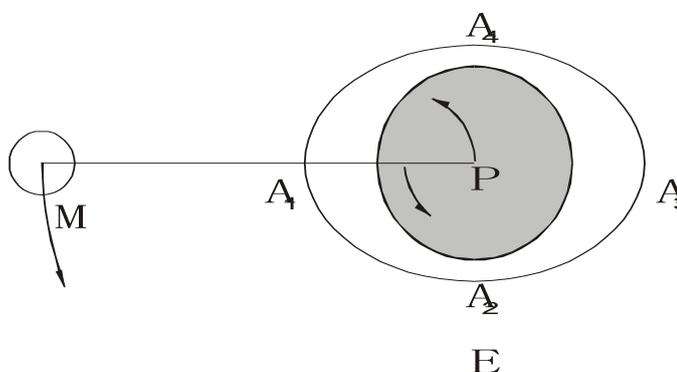


图 4-15 潮汐半日不等示意图

- A1(上中天): HW1 (第一次高潮)
- A2(转  $90^\circ$ ): LW1 (第一次低潮)
- A3(下中天): HW2 (第二次高潮)
- A4(转  $90^\circ$ ): LW2 (第二次低潮)

潮汐半月不等现象以半个朔望月为周期，时间约为 14.5 天，产生原因是月球、太阳和地球相对位置的周期性变化。会产生以半个朔望月为周期的“大潮”和“小潮”现象：

- 初一（新月）高潮最高，低潮最低，为“大潮”。
- 初七、八（上弦月），高潮最低，低潮最高，为“小潮”。
- 十五（满月），高潮最高，低潮最低，为“大潮”。

二十二、三（下弦月），高潮最低，低潮最高，为“小潮”。

## 2. 潮汐开发与利用

潮汐现象在国民经济中具有重要的意义，各种海洋事业、海岸带开发都与潮汐涨落密切相关。潮汐的开发与利用在生活中有许多例子，现主要谈军事应用、钱塘江大潮和发电应用。

在军事史中，由于潮汐、潮流在沿海海区特别明显，而在外海及大洋中则不明显，因此，舰船在浅海区航行和进出港时，必须掌握潮汐和潮流的情况。在登陆作战中选择登陆地段、确定登陆时刻。在抗登陆作战中判明敌人的登陆地段、确定登陆日期和上路时刻，都需要考虑和重视潮汐的因素。利用涨潮登陆，舰船即可顺流而增大航速，又便于抵滩，从而缩短人员涉水和岸滩的运动距离。

潮汐景观对旅游业发展的影响。例如：我国最大最壮观的潮汐是钱塘江潮，潮头高达8m左右，潮头推进速度每秒达近10m，其壮观景象，汹涌澎湃，气势雄伟，犹如千军万马齐头并进，发出雷鸣般的响声，实为天下奇观。钱塘江在杭州湾流入东海，河口外宽内窄，宽处达100km，狭处只有几千米。每年钱塘大潮来临时，都吸引了大量游客来此观潮旅游。

潮汐能是以位能的形态出现的海洋能，是指海水涨潮和潮落形成的水的势能。海水涨落的潮汐现象是由地球和天体运动以及它们之间的相互作用而引起的。

潮汐发电的工作原理与常规水力发电的原理类似，它是利用潮水的涨、落产生的水位差所具有的势能来发电。对水闸适当地进行启闭调节，使水库内水位的变化滞后于海面的变化，水库水位与外海潮位就会形成一定的高度差，从而驱动水轮发电机组发电。从能量的角度来看，就是将海水的势能和动能，通过水轮发电机组转化为电能的过程。

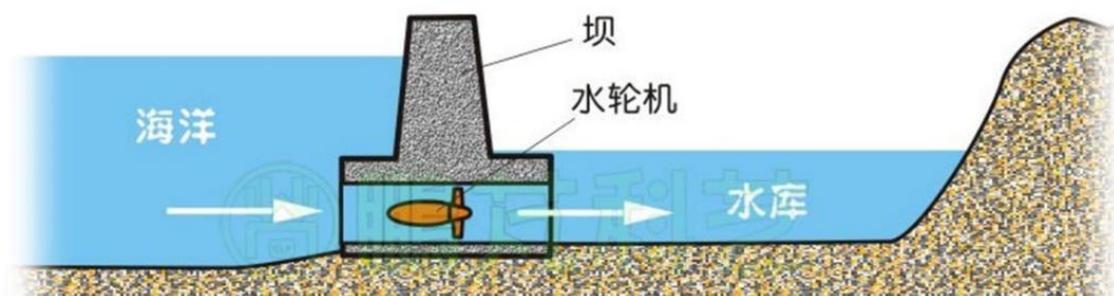


图 4-15 潮汐能水电站

## 第五章 话说时间与历法奥秘

### 第一节 历法的种类

#### 一、历法的来历

历法是为农业生产服务而提出的，但历法的制定是依据地理和天象进行的。古人从观测地面物象来判定季节的“地象授时”到观察天空现象来判断农事季节的“天象授时”，已积累了大量的“观象授时”的经验。历法的演变过程，体现了人类认识自然规律的深化过程。

由于农业的需要，四季和节气受到重视，制定历法则规定寒暑有常，节所有序。这些规定，就使得历书上的月日次序和太阳、月亮在天球上的视位置完全一致。如果有不一致，将会造成寒暑颠倒，月相失常的混乱现象。于是就得修改历法，使历书上的月、日次序再恢复到所规定的月球、太阳在天球上的视位置。

回归年是四季更迭周期，朔望月是月相变化周期。因此，制定历法，必须重视这两个周期的长度。但是，回归年（365.2422日）和朔望月（29.5306）都不是整数，都不能简单通约。如果按年、月的实际长度作为历法中的年和月，那么年和月开始时刻在一日中将是不固定的，这对人们的生产和生活都很不方便，因此，历法中的年和月则人为规定为整日数。这种整日数的年和月，称为历年和历月。

既然历年不等于回归年，历月不等于朔望月，它们之间就必然存在着一定的差值。如果对差值置之不理，时间一长久，将会造成历法的混乱。对差值的适当处理，在历法中叫做置闰。其目的在于使历法的起算点总是接近所规定的日期。

综上所述，把历月和朔望月的差数配搭妥当，把历年和回归年的差数安顿好，使之既能使历书上的月日次序符合月、日在天球上的视位置，又能便利人们生产和生活上使用，这就是制定历法的基本原则。

世界上一些文明古国的历法无不经历复杂的演变过程，世界上不少民族也都曾制定过具有本民族特色的历法，随着国际交往的频繁，历法亦势必趋向统一。所以，历法是人类文明的重要组成部分。

## 二、历法的种类

根据选定的天体（太阳或月亮）运动的实况和人为定出的年、月的长度，以及选取的不同的历元——一起算点，而制定出太阴历、阴阳历和太阳历三种大类型。

### 1. 太阴历——以回历为例

太阴历简称阴历。是把月看作制定历法的首要成分，力求把朔望月作为历月的长度，而历年的长度是人为规定，与回归年无关。朔望月的长度是 29.5306 日，所以阴历的历月规定单数月为 30 天，双数月为 29 天，平均 29.5 天，并以新月始见为月首。12 个月为一年，共 354 天。然而 12 个朔望月的长度是 354.3671 天，比历年长 0.3671 天，30 年共长 11.013 天。因此，阴历以 30 年为一个置闰周期，安排在第二、第五、第七、第十、第十三、第十六、第十八、第二十一、第二十四、第二十六、第二十九年 12 月底，有闰日的年称为闰年，计 355 天。经过闰日安插，在 30 年内仍有 0.013 天的尾数没有处理，不过这要经过 2400 余年方能积累一天，届时只要增加一个闰日就可以解决。从历法的发展史上看，凡历史文化悠久的国家（如古中国、古印度、古埃及和古希腊等），最初都是使用阴历的，现在伊斯兰教国家和地区仍采用这种历法，所以又称阴历为回历。阴历起始历元是回教教主穆罕默德从麦加迁到麦地那的那天，即将儒略历公元 622 年 7 月 16 日（星期五）作为纪元和岁首。

这种历法与月相变化吻合，但每个历年平年比回归年约少 11 天左右，3 年就要短 1 个月，约 17 年就会出现月序与季节倒置的现象，原来 1 月份在冬天，17 年后，1 月份就在夏天了。随着农业生产的发展，需要历法的月份和四季、农业与气候密切配合。然而，阴历却满足不了这个需要的。

为了解决阴历与农业生产上的矛盾，一是放弃，即取缔以朔望月为基本单位的阴历，采用以气候变化周期的回归年为基本单位制定新的历法（这就是稍后要介绍的阳历）；二是并用，即阴历和阳历两种并行使用，如伊斯兰教的民族，在宗教节日上用阴历，在农业生产上用阳历；三是协调，即仍以朔望月的长度作为一个月，而历年的平均长度为回归年，经过恰当的调整后，使之基本符合寒暑变化的常规，也就是说，根据月亮绕地球公转周期以定月，根据地球绕太阳公转周期以定年，编制新历法（这也是稍后要介绍的阴阳历）。此外，还有一种是阴阳历和阳历并行使用的历法种类，如我国的农历。

## 2. 太阳历——以公历为例

太阳历简称阳历，它纯粹以回归年为基本单位，与朔望月毫无关系。把年看作首要成份，力求使阳历历年的平均长度等于回归年，月的日数和年的月数都是人为规定的。现今全世界通用公历，即格里高利历就是阳历，它是由儒略历发展而成的。

(1) 儒略历。公元前 46 年，罗马的最高统治者儒略·凯撒邀请天文学家索西琴尼进行历法改革，制订新历，称为儒略历，又称旧太阳历。儒略历把一个回归年定为 365.25 日，并规定每年设 12 月，单月 31 日，双月除 2 月 29 天（因二月份是当时罗马处决犯人的月份，二月份减少 1 天，表示执政者的仁慈）外，其余是 30 天，共计 365 天，每隔三年置一闰年，闰年时在二月内加一闰日，也是 30 天，全年共计 366 天。

儒略·凯撒在改历后一年（即公元前 45 年）逝世，为了纪念他，他的旧臣僚把他出生的 7 月（大月）改为儒略月。掌握权利的僧侣们把“每隔三年置一闰年”规则，误解成“每三年置一闰年”。这样，自公元前 42 年置闰开始到公元前 9 年短短 33 年中，竟置闰了 12 次，比凯撒规定多了三个闰年。当时的最高统治者，凯撒的侄子奥古斯都对儒略历作了修正。

下令改历：一是规定从公元前 8 年到公元 3 年不再闰年，等把多闰的 3 年扣回后再按 4 年 1 闰的办法实行；二是他把自己出生的 8 月改为大月，称“奥古斯都月”，8 月以后大小月颠倒，结果多了一个大月，就再从 2 月份中扣除 1 日，那平年的 2 月份就剩 28 日。后人把此称为奥古斯都历（其实本质上还是儒略历）。这样没有规律的月的日数（1、3、5、7、8、10、12 是大月，2、4、6、9、11 是小月），仍然在现行的公历中沿用。

(2) 国际通用的公历（格里历）。儒略历在当时可以说是最好的历法。欧洲一些基督教国家于公元 325 年在尼斯会议决定共同采用，并根据当时的天文观测规定春分日必须在 3 月 21 日，然而，儒略年（365.25 日）比回归年（365.2422 日）长 0.0078 日，即 11 分 14 秒。这个小小的差值，从公元 325 年到 1582 年的 1257 年间积累了约 10 天的误差。在公元 1582 年测得太阳于 3 月 11 日便通过了春分点，春分日比规定的 3 月 21 日提早 10 天来临。历日与天象不符合，必须对历法进行修订。

罗马教皇格里高利十三世采纳了意大利医生利里奥的建议，并于公元 1582 年 3 月 1 日颁布了命令：一是把当年 10 月 4 日后的一天作为 10 月 15 日，即把 10 月 5 日至 14 日的 10 天勾销（历史上空白了 10 天）；二是把 4 年 1 闰改为 400 年 97 闰，具体置闰的办法是凡世纪年份（为 100 的倍数）能被 400 除尽者才是闰年，其余年份能被 4 除尽者为闰年。当然，这样闰法，比起儒略历经过 128 年就相差一日要精确得多。但每 400 年还是多闰 0.12 日，4000 年就多闰 1.2 日。因此，如果这一历法继续使用下去，公元 4000 年和 8000 年亦不应作闰年。因为，在几千年中，回归年的长度也会发生改变。

改革后的新历，被后人称为格里历，是目前全世界通用的公历。世界上大多数国家都使用这种历法，故称公历。我国是在 1912 年成立民国政府时宣布采用公历的。

### 3. 阴阳历——以中国夏历（或农历）为例

阴阳历是年、月并重，力求把朔望月作为历月的长度，又用设置闰月的办法，力求把回归年作为历年长度的历法。中国是最早使用阴阳历的国家之一，美索不达米亚的亚述人和印度人也较早制定过阴阳历。我国阴阳历曾经历过复杂的演变过程，从战国到清代，编出的有据可查的较完善的历法就有上百部，大致又可以分为四个时期，即：

①古历时期：汉武帝太初元年以前所采用的历法；

②中法时期：从汉太初元年以后，到清代初期改历为止。这期间制订历法者有七十余家，均有成文载于二十四史的《历志》或《律历志》中。诸家历法虽多有改革，但其原则却没有大的改变；

③中西合法时期：从清代期苏会传教士汤若望上呈《新法历书》到辛亥革命为止；

④公历时期：辛亥革命之后，于 1912 年孙中山先生宣布采用格里高历（即公历，又称阳历），即进入了公历时期，中华人民共和国成立后，在采用公历的同时，考虑到人们生产、生活的实际需要，还颁发中国传统的农历）。

这些历法的总趋向就是日臻完善和精确，主要在回归年和朔望月的长度、置闰、确定岁首和月首等方面进行求索，不断改进。

（1）阴阳历的置闰。为了保持日序和月相变化相互对应的天文性质，同时

还要使一年中的时令节气与农事活动相去不远。因此，阴阳历的产生就是把朔望月和回归年合理地协调起来。回归年的日数是朔望月的日数的 12.368 倍，也就是说，一个回归年不正好是朔望月的整倍数，它多于 12 个朔望月，而少于 13 个朔望月。为了使历年的平均值总是接近于回归年的日数，阴阳历平年是 12 个月，闰年是 13 个月，增加的一个月，叫做闰月。经过推算，19 年加 7 个闰月较为符合实际，因为：

$$19 \text{ 个回归年} = 19 \times 365.2422 = 6939.6018 \text{ 日}$$

$$12 \times 19 + 7 \text{ 个朔望月} = 235 \times 29.5306 = 6939.6910 \text{ 日}$$

两者非常接近，相差甚少。这样阴阳历的月份和季节可以在较长时期内保持大体一致，不会出现冬夏倒置，寒暑失序的现象。19 年 7 个闰月的方法，早在公元前六世纪的春秋时代，我国就已经应用了，而古希腊在公元前 433 年才发现这个周期，比我国晚了 160 年，由于闰月的安插，阴阳历的一年长度相差很大，平年是 353~355 天，闰年 383~384 天。如何安插闰月，这跟二十四气中的中气有关。在阴阳历中，每个月都有它固定的中气，如含有雨水的月份为正月，含有春分的月份为二月……大寒则是腊月（十二月）的中气。在 19 个回归年中，有 228 个节气和 228 个中气，而阴阳历十九年中有 235 个朔望月，显然有七个月会没有节气和七个月没有中气。在西汉天文学家邓平和落下闳制定《太初历》时，规定以没有“中气”的月份，作为这一年的闰月，它用上月的名称，并在前面加上一个“闰”字，这种置闰办法，被后来历法家一直采用着。

闰月是人为规定的，历史上并不是凡没有中气的月份都定为闰月，尚有个别是例外。假定前一或两个月里包含了两个中气，下一个月虽然没有中气，还不能把它作为闰月。例如，清同治九年十一月里有两个中气（冬至和大寒），十二月只有一个节气（小寒），虽然没有中气，也不称作闰十一，仍然是十二月。又如，1985 年（乙丑年）正月没有中气，只有一个节气（惊蛰），但在上一年的十一月里却有冬至和大寒两个中气，应为正月的雨水出现在十二月里，那么这个没有中气的正月，还是不算作闰月十二月，仍是正月。有了这样规定后，才能在 19 年中正好安插 7 个闰月。

从春分到秋分的夏半年中有 186 天多，而从秋分到春分的冬半年中只有 179 日，这样就使两个中气（或两个节气）之间的日数不能相等。在夏半年中，两个

中气的间隔超过它的平均天数（33.44日）尤其是地球在远日点附近，它的运动最慢，使两个中气的间隔也就达到最大（31.45日）。于是，在这段期间的历月里不包含中气的机会就较多些，这就是四、五、六三月出现的闰月次数特别多的原因。相反地，在冬半年中，两个中气的间隔也就达到最小（29.43日）。于是，在这段期间的历月里总要包含一个中气，有时还会包含两个中气。这就使得十一月、十二月和正月一般不会有闰月发生的。

（2）阴阳历大小月的确定。根据朔望月的平均长度（朔望月的长度是变化的，最多可相差13小时）推算，从朔（初一）开始到另一个朔（初一），间隔30日就是大月，间隔29日就是小月。

（3）阴阳历的其它名称。在历书中有把我国的传统阴阳历称为“夏历”；在民间称它为“农历”或“阴历”。

我国的阴阳历之所以称“夏历”并不是指夏代的历法，而是当时采用了夏代历法的“建正”。所谓建正，就是把正月放在什么时节的安排。

夏制正月建在寅月，随后夏朝灭亡，商朝就把正月建在丑月；商殷被周代替，周朝又把正月提前到子月；后周没落，秦灭诸国，则把正月提前到亥月，即现在的十月（十月秋季是收获季节，老百姓在农忙时安排过年，是不合情理的）；直到汉武帝制定太初历时才恢复夏制，再把寅月作正月，直至今日。因此，人们就把我国的传统阴阳历称为夏历。

我国的阴阳历被称为农历，是近三十年内出现的。因该历法有二十四气成份，能指导农事活动，因而称阴阳历为农历。实际上，节气源自太阳的周年视运动，所以，二十四气是属于阳历成分。

我国的阴阳历也有人称为阴历，实际上是不妥的。尽管阴阳历的历月与阴历的历月很接近，但它们是两种不同的历法。阴阳历与节气虽然不是完全符合，但绝不会像阴历那样有寒暑倒置的现象发生。事实上，就以历月来说，两者也是有区别的。阴阳历历月的月首，规定在“朔”的日子，所以它的历日有明显的月相意义，而阴历的月首安排在新月始见的日子，相当于阴阳历的初二或初三。还有，阴历的历月大月（30日）小月（29日）相间排列，很有次序，是人为规定的。而阴阳历的历月，虽然大小月的日数与阴历相同，但哪个月是大月，哪个月是小月，并不是人为规定的，而是通过计算出两朔日之间的实际长度（是30日还是

29日)来确定历月的大小。因此,在阴阳历中,历月的日数并不是大小月相同,而是常会连续出现两个月,或连续出现两个、三个大月,甚至还会有连续出现四个大月的。因此,我们现在绝不可把阴阳历和阴历混为一谈。

(4)夏历特点。纵观我国古代历法,所包含的内容尽管十分丰富,但大致说来包括推算朔望、二十四节气、安置闰月以及日月食和行星位置的计算等。当然,这些内容是随着天文学的发展逐步充实到历法中去的,而且经历了一个相当长的历史阶段。总结我国夏历与一般的阴阳历除有共同特点外,还有它独特的地方,表现在:①强调逐年逐月推算,以月相定日序(以合朔为初一,以两朔间隔日数定大、小月);以中气定月序(据所含中气定月序,无中气为闰月)。②二十四节气与阴阳历并行使用,阴阳历用于日常记事;二十四节气安排农事进程。③干支纪法,60年循环。

## 第二节 历法的评价

### 一、通用历法的优缺点

#### 1. 现行历法的优缺点

(1)公历。目前世界上仍在使用的几种主要的历法都有优点和不完美之处。就公历来说,优点是历年与回归年同步,故月序与季节匹配较。缺陷是:①历月是人为安排的,历月的天数有28、29、30和31天四种,大、小月排列不规律。②四季的长度不一,有90、91和92天三种;上下半年的日数也不相等。③岁首没有天文意义。④每月的星期号数不固定,每年同日的星期号数,每月同日的星期号数,都各不相同。⑤与月相变化周期无关。

(2)阴阳历和阴历。就我国的阴阳历来说,优点是把两个天赐的周期都应用了,平均历月是月球公转周期,平均历年是地球公转周期。长期使用,对日、地、月三者的关系就不会生疏,看到月份就可知道在这一年中月球已绕地球转了几圈,看到日期就可知道月相,缺点是平年与闰年有一个月的差值,日期与季节的对应关系有一个月的错动。当然,这样的错动问题不大,因设置了二十四节气,时令还是可以掌握的,所以,我国的阴阳历不愧是一种好历法。阴历的历年与回归年相差太大,会出现月序与季节颠倒的现象,所以缺陷明显,目前除了伊斯兰国家保留以外,别的国家或地区早已摒弃了。

## 2. 改历的方案

为了使历法更简明,使用更方便,许多人对现行公历提出了历法改革的呼吁。自1910年起国际上就开展关于改历问题的讨论,国际组织收到了200多个改历方案,其中引人注意的有“十二月世界历”和“十三月世界历”。

(1) 十二月世界历。把每年分为4季,每季3个月,其中1个大月,31天;2个小月,30天。这样,每季为91日,1年为364日,还有1—2日就作为国际新年假日(平年在12月末加1日,不算入月份内,闰年在6月末再加1日,也不计入月份内)。由于每星期为7日,每季91天正好是星期的倍数,所以,元旦和每季的季首都都可以安排为星期日,星期和日期的对应关系也可以按季循环。

(2) 十三月世界历。把每年分13个月,每月4个星期,28日,计全年52个星期,364日,还有1~2日的新年假日。平年加1个假日,闰年加2个假日,都置于年末,不计入月份内,也不计入星期中。

这两个方案都是年年相同,永久不变,但存在着日期不计日序的缺陷,这样对记录社会活动和历史事件将带来很大麻烦。

现代国际交往频繁,任何国家都不可能再自成体系,闭关自守。所以,历法势必趋向统一。因此,改历已不是一个国家或几个国家的事情,而是全世界的事情,这样自然要国际组织来协调。尽管现行的历法有诸多的缺点,但它还是目前通用的世界历法。

### 知识窗—公元年转换干支年的计算方法

干支是天干和地支的合称,甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸十个字叫做天干;子、丑、寅、卯、辰、巳、午、未、申、酉、戌、亥十二字叫做地支。一个干后面配上地支中的一个字,把天干中的一个字摆在前面,若天干以“甲”字开始,地支以“子”字开始顺序组合,就可得到六十对干支。在我国古代立法中,习惯用干支纪年,去查干支序数表,就能知道这年的干支了。

对于公元年的天干地支可用下列方法确定干支:天干:年数减去3,除以10,余数对应着天干具体的位数。地支:年数减去3,除以12,余数对应干支的位数。例如,求1898年的干支有:

$$1898 - 3 = 1895$$

$$1895 \div 10 = 189 \cdots 5$$

则 1895 年的天干为戊。

1895 年的地支：

$$1898 - 3 = 1895$$

$$1895 \div 12 = 157 \cdots 11$$

则 1898 年的地支为戌。

1898 年为戊戌年，我们知道，1898 年是戊戌变法的时间。

## 第六章 天文观测实操训练

### 第一节 关于天文望远镜

#### 一、常见的望远镜种类

简易的天文望远镜一般由物镜、物镜镜筒、目镜、寻星镜等部分组成。望远镜主要有折射式、反射式与折反射式三种类型。

1. 折射望远镜的物镜是凸透镜。天体的光线通过物镜聚集在焦平面上成像，然后由目镜放大。折射式望远镜十七世纪初由科学家伽利略发明，是最早出现的望远镜。当时的折射镜十分简单，镜筒上端是单片凸透镜片，另一端焦点位置则用一片凹透镜片作为目镜把成像放大，所以成像出现很大色差，极影响成像的清晰度，直至后期消色差物镜被发明，望远镜的质素才大为改善。消色差物镜基本上由两片不同折射率的玻璃透镜组成，达到消除色差效果。现代的折射镜都是采用消色差物镜组合，低品质或玩具的例外，更高要求的则采用三镜片物镜，或使用低色散玻璃，如萤石玻璃等来制造物镜，但这类望远镜售价十分高昂。目前，技术水平较高的厂家以传统标准光学玻璃制造的消色差物镜已达到颇理想效果，近年由于技术提高和产量增加，供应业余爱好者的商品售价更较多年前便宜。

2. 反射望远镜的物镜是凹面反射镜，天体的光线经过它的反射，投射在一个小反射镜斜镜上，经斜镜的又一次反射，再由目镜放大。反射式望远镜折射

镜出现后约半个世纪 1668 年，科学家牛顿发明了反射镜，所以这类望远镜一直以牛顿式反射镜 Newtonian 称呼。当时牛顿认为折射镜的透镜做成色差，影响成像的清晰度，所以发明了反射镜，因为反射镜不会做成色差现象。牛顿式反射镜是由一块凹反射主镜及一块平面副镜组成，平面副镜放置在镜筒前端成 45 度角，光线进入镜筒后，经主镜反射回前端的副镜再屈折 90 度至镜筒外侧聚焦成像，再经目镜放大。所以牛顿式反射镜是在镜筒上端外侧观看见上图。牛顿当年的反射镜采用铜材料制成主镜，后来才发展至采用玻璃并披上金属银作反射膜，现今的主镜和副镜都是镀上铝金属膜和加上保护膜，望远镜可使用很长时间而无须重镀反射膜。牛顿式反射镜是三类型望远镜中最易制造的一种，所以业余者自制天文镜也造反射镜这款形式，对于家生产来说，牛顿式反射镜自然是售价最便宜，所以亦被较多入门者选用。

3. 折反射望远镜基本上就是一架反射望远镜，仅在物镜前面加一个特制的改正透镜，用来克服反射望远镜有像差这一最大的缺点。折反射式望远镜是二十世纪才发明的望远镜，这类望远镜有两类，一类是施密特卡式，另一类是马克苏托夫式，但大多数厂制望远镜都以施密特式为主，原因是施密特式的矫正透镜较易生产大口径，所以这类望远镜在口径上有很多选择，而大口径的马克苏托夫望远镜生产困难及售价非常昂贵，所以商品都以小口径为多。我校天文台采用的即为施密特卡式望远镜。施密特卡式望远镜由反射主镜、副镜及矫正透镜三部份组成。镜筒前端的矫正透镜看似平面镜，但实际是高技术磨制的一片呈波浪型微凹透镜，反射主镜中心则开有一圈孔，以便光线经副镜反射后穿过主镜在镜后聚焦，由于光线在折反身镜内来回反射及由副镜延长焦距的作用，所以折反身镜的镜筒设计可以很短，即使口径较大，望远镜仍可以便于携带，这是折反射镜的最大优点。

## 二、利用光学原理分析天文望远镜的性能

用天文望远镜观测星空的人，首先得掌握一定的天文望远镜和天文学的基础知识。望远镜的性能主要由以下几个方面来反映：

### 1. 有效口径和相对口径

物镜中心到焦点的距离叫做物镜的焦距，用符号  $F$  表示。物镜的直径没有被框子和光阑挡住的部分叫做物镜的有效口径，用符号  $D$  表示。天文望远镜的性能主要就是以这两个数据为标志。有效口径与焦距的比叫做相对口径，用符号  $A$  表示。即： $A=D/F$ ，其中  $D$ 、 $F$  用毫米作单位。

## 2. 放大率

望远镜的物镜焦距 ( $F$ ) 与目镜焦距 ( $f$ ) 之比，叫做望远镜的放大率，用符号  $M$  表示。一架天文望远镜通常配有好几个不同焦距的目镜，从而可得到几种不同的放大倍率。比如当望远镜的物镜焦距为 840 毫米，目镜的焦距是 10 毫米，那么放大率就是 84 倍，若另一目镜的焦距为 20 毫米，则望远镜的放大率就是 42 倍了。

但是望远镜倍率的提高是有一定限度的，这就是望远镜的有效倍率。如果选用过高的倍率，成像就会变暗，观测效果反而不好。对普通天文望远镜来说，最高有效倍率约是口径的 2 倍。例如，望远镜的口径是 80mm 时，最高有效倍率是 160 倍左右；口径是 100mm 时，最高有效倍率为 200 倍左右。

## 3. 集光力

光线是通过瞳孔进入人眼的，人眼只能收集到相当于瞳孔面积范围的光。在暗处时，人眼的瞳孔直径一般约为 7mm。因此，就把望远镜物镜的有效面积相对于瞳孔面积的倍数叫做集光力。即：集光力= $(D*D)/(7*7)$ ，其中  $D$  用毫米作单位。

## 4. 分辨率

由于光的衍射作用，天体在望远镜中所成的像，会成为一个小圆盘。如果两颗星星接近到刚刚能分辨出来，它们的最小角距就叫做分辨率，用符号  $\theta$  表示，单位为角秒。望远镜分辨率同物镜有效口径的关系可粗略表示为： $\theta=140/D$ ，其中  $D$  用毫米作单位。对于天文观测来说，分辨率往往比放大率更重要。

## 5. 极限星等

在晴朗无月的夜晚，用望远镜能够看到的最暗的星等，叫做这架望远镜的极限星等，用符号  $M_e$  表示。 $M_e$  的数值主要决定于物镜的有效口径，有一个经验公式可供参考：

$M_e = 7.1 + 51gD$ ，其中  $D$  用厘米作单位。当然这是理论数值，由于大气层及观测者视力等因素的影响，实际数值和计算值不一定一致。

## 6. 视场

在望远镜中能够看到的天空区域的角直径叫做视场。用符号  $\omega$  表示。对于一架望远镜来说，视场同目镜的焦距有关，目镜的焦距越短，望远镜的现场越小。换句话说，望远镜的放大率越大，视场就越小。

天文望远镜的相对口径越大，聚光能力就越强，通过望远镜看到的天体就越明亮。另外，在物镜焦距不变的情况下，有效口径越大，相对口径也就越大。显然，有效口径越大，望远镜的性能就越好。也就是说，天文望远镜的性能好坏，主要由口径来决定。

## 第二节 常见天体及天文现象的观测

### 一、观测场地的选择

要进行天文观测，没有一个好的场地是绝对不行的。观测场地周围的环境直接影响着观测效果：如果障碍物过多，很难见到观测目标，就更甭提观测了；如果气流变化过大，会造成图象的抖动和变形，使望远镜的分辨率降低；如果天空被灯光照得很亮，极限星等（肉眼可见最暗恒星的星等）就会降低，换句话说，也就是看到的恒星数就会减少，对观测和摄影都会造成很大的影响，甚至根本无法进行。为了使观测活动达到预期效果，选择一个合适的场地是必须的，选择时要注意以下几点：选择一个开阔的场地，如运动场，使能看到的天区增到最大。如果住在高楼林立的居民区内，在楼下随便找个地方是绝对不能观测的。可想而知，在几栋楼之间要想看到天顶以外的部分是件非常困难的事情。在运动场之类的地方就可以避免这些麻烦事了；要注意气流的影响，若在建筑物附近观测，应特别注意要避开开着的窗户，因为在开着的窗口附近，很容易产生复杂的气流，以至于影响观测效果。此外，还应该注意尽量避免直接在水泥地面上观测，因为水泥的比热容很小，所以在夜间温度会很快下降，也会造成气流变化。土地就比水泥地面好得多，如果有条件的话，最好选择在草地上观测，因为草地含有大量水分，水的比热容又大，所以不易引起

气流的剧烈变化。当前，许多天文台都建设在海边或海岛上，主要也是因为这个原因；灯光也是一个不可忽视的问题，随着经济的发展，城市的灯光越来越多，天空被照得越来越亮，而且许多灯都是彻夜不关的，正如上面所说，这对天文观测造成了极为严重的影响。虽然你不能为了进行观测而不让城市发展，但是我们可以主动的去避开灯光。在美国，天文爱好者们为了躲避灯光的影响，自己驾车几十，甚至几百公里来到野外进行观测的事情已是屡见不鲜了——我们也只能学他们，找一块自己认为足够黑暗的地方——当然，应该是自己熟悉的地方，千万不要到自己毫不知情的荒郊野外，以免发生危险。

## 二、太阳黑子的观测

1. 不能直接用肉眼上观看太阳，因为太阳的强光会把眼睛刺痛。必须用涂了浓墨的玻璃遮住眼睛去看太阳，而且不能看太长时间。肉眼所能看到的太阳是非常小的，太阳表面的情况及变化必须用天文望远镜观测。

2. 太阳就好像生物一样，每时每刻都在活动着。太阳表面的黑子数量和太阳的活动有密切关系太阳活动越频繁，黑子数目就越多。因此，根据长时间连续观测的黑子的变化情况，就可以研究太阳温度的变化。

### 3. 观测太阳黑子所必需的物品

用口径 5—10cm 的小型天文望远镜，就可以对太阳的黑子进行充分的观测了。观测太阳黑子常用有专用镜片的反射式望远镜，最好配备投影板。当然，也可使用有普通物镜的折射式望远镜。

为了便于对太阳进行观测，须准备如下一些小附件。

(1) 太阳投影板：对折射式天文望远镜来说，作为附件的投影板，通常在出厂时就配备好了。这种装置安装简单方便，安装好后不会晃动就行了。另外，投影板前后位置可以调整，很方便。

(2) 目镜：作为观测太阳用的目镜，可以任意选用耐热类型的高增益式。应准备一个能看到太阳全貌的 50—60 倍的目镜，和一个能看到黑子深部的高倍率目镜。

(3) 太阳滤光镜：直视观测太阳时应该用专用滤光镜，因为滤光镜有隔热减光的特性，望远镜口径在 10cm 以上时，物镜前面应盖上一个中间开有直径

5cm 以下孔的盖子，或用三面反射棱镜，使通光量适当减少。观测太阳千万要注意眼睛的安全。

(4) 观测用图纸：在洁白的纸上画好直径 15cm（或者 10cm）的圆并写好数据，事先制成观测用的图纸。

其他如铅笔、橡皮擦、秒表等都应事先准备好。

### 三、日食的观测

月球在绕地球运行的过程中，有时会走到太阳和地球的中间，月球的影子落在地球的表面上，在影子里的观测者就会看到太阳被月球遮蔽的现象，叫做日食。

日食分日全食、日偏食与日环食三种。全盘和环食的过程分初亏、食既、食甚、生光、复圆等 5 种，偏食只有初亏、食甚与复圆 3 种食象。

日食是可以用人眼进行观测的，当然，在太阳只有部分亏缺时，阳光依然会很刺眼，观测时必须考虑有效的减光对策，千万不要直接用肉眼去看太阳。可以采用以下几种简单的办法进行观测：

第一种办法是，找一个脸盆，里面盛满水，再放入些墨汁，日食的时候从脸盆里看太阳的倒影。这是一种最简单易行的方法。

第二，找几张 120 的照相底片，把它们重叠起来，日食的时候隔着这些底片看太阳。这种方法可以根据太阳光的强弱随时增减底片张数，还可以装在自己制作的眼镜框上，使用起来很方便。

第三，用望远镜观测，但不要直接通过望远镜上看太阳，否则会灼伤眼睛。用望远镜观测太阳，要事先找几张照相底片，剪成合适的形状，装在物镜的前面。要注意装牢，防止移动望远镜的时候底片滑掉。比较妥当的办法还是使用投影板。投影板安装在目镜的一端，调整目镜焦距，使投影板上出现清晰的太阳像以使观测日食的全过程。

发生日食之前，对于日食的时刻、方位以及整个日食的过程，一般都有预报。我们要根据预报作好准备，除了准备好观测用具以外，还要准备一些日食观测纸。日食观测纸上有一个大圆，圆上逆时针方向标有  $0^{\circ}$  - $360^{\circ}$ 。记录的

时候，大圆表示太阳的圆面， $0^\circ$  位置表示太阳的北点。为了了解日食的全过程，要从初亏到复圆的各个阶段，每隔一定时间画一张食像图。

对于日全食，从食既到生光只有三、四分钟，有时不到一分钟，要在这段时间内描绘一、二张或者三、四张食像图。

初亏的时刻和方位是比较难测准的，在预定的时刻到来之前，就要密切注意着预报的方位。当出现初亏现象，就立即记下出现的时刻以及太阳圆面和月亮圆面相外切的切点方位。初亏以后，太阳圆面和月亮圆面相交于两点，每次观测时要记下观测时刻和两个交点的方位，并且及时把食像描绘在日食观测纸上。这项工作只要做得很仔细，就会获得一套日食全过程的食像图。

日全食的机会对于天文爱好者来说是十分难得的。因此，参加观测日全食是要注意协作，进行适当的分工。每个人要熟悉所用仪器，掌握操作方法，学会做观测记录。最好预先排练几次，使实地观测日全的短暂时间内不忙乱。能及时准确地记下日全食的种种现象。观测场地要预先选择好，保证自始至终都能看到日食。此外，还应注意以下几个问题。

#### (1) 观测月球影子

在日全食即将来临和刚要结束的短时间内，我们可以看到月球影子由西向东迅速移动。为了观测月影，要登上比较高的地方。事先选择几个大致东西向排列的、到观测点距离不同的远方目标，如大建筑物电线杆、高树、山坡等，并测量出它们到观测点的距离（也可以事后补测）。观测的任务是定出影子从远方目标到达观测点的时间。由于影子移动速度快，计时要用种表或者数数的方法。由距离和时间，就可以计算出月影移动的速度。月影移动的速度大约每秒 1 公里。

#### (2) 观测倍利珠

月球表面有许多高山，所以月亮的边缘崎岖不平。在食既或生光到来的瞬间，太阳光通过月球边缘的山谷射出来，形成许多特别明亮的光线或光点，好象在太阳的周围镶嵌着一串珍珠似的，这就是著名的倍利珠。

观测倍利珠现象并没有特殊的科学价值，但这是一种很有趣而美丽的现象。当发现月面边缘有倍利球现象出现的时候，要记住它的方位、形状和珠的数量，并立即画下来。

食既瞬间，倍利珠一般出现在太阳的东边缘，生光瞬间，倍利珠一般出现在太阳的西边缘。

#### 四、流星的观测

观测流星不需那些大规模的工具，用肉眼就可以进行观测。当然，正规的流星观测，还是要根据其观测目的使用天文望远镜，或用照相机及其他的观测工具并用的方法，以及使用电子技术等高新技术或器具进行观测。

流星是每天都有的，世界各地的夜空会不时有飞行的流星，而且出现在离地面 100 公里左右。不论您处在那个地方，用肉眼观测流星，只要方法正确，就会得到充分有用的资料和数据。观测流星应注意以下问题：

##### (1) 统计流星的数量

根据观测目的的不同，肉眼观测流星也应有不同的方法。观测流星应从数流星的数量开始，应使用计数器来计算 1 小时内出现的流星数量以及随着时间的逝去流星出现数量的变化情况。可是，我们的眼睛不可能像鱼的眼睛那样可以同时向四处观望。当一个人观测时，只能数在自己视野内的流星数。通常是以观测流星群的辐射点为中心去观看。没有流星群活动时，要选一个明亮的星或星座，向着所选的星座方向去观测。

观测流星最好能够采用小组集体协作进行观测，每个人分担天空的一部分方位去观测。这样就可以对太空的大范围内的流星进行观测了。

例如，6 个人合作观测时，每个人分担  $60^\circ$  的方位，8 个人观测时，每人分担  $45^\circ$  的方位。如果还能有一个人专门负责头顶上面的方位（天顶方位）那就更好了。还有一个人专门负责记录，这是集体观测活动的最理想观测方法。

##### (2) 目测流星的明亮度

如果有多余的时间，应把流星的亮度和近处恒星的亮度比较，并记录下来。要在观测方向的星空中寻找一个亮度测定基准星，基准星的亮度等级必须是已知的。但由于这种流星观测是瞬间的目视观测，如不能达到相当的熟练程度，就不可能得到稳定的数据。

##### (3) 注意记录流星的其他特征

流星的颜色用肉眼很难分辨出来，但对特明亮的流星可以把对它的感觉记录下来。如果观测到流星爆发的特别现象，千万不要忘记记录下来，还要判断和记录它属于哪个流星群。

观测流星群时，沿着流星运动的相反方向追寻下去，就会发现它们源于星空中某一点，把这个点叫做辐射点。各流星群有各自的辐射点。有无相同的辐射点是区别流星群与偶发流星的主要标志。

流星群的命名，通常使用辐射点所在的星座或附近某个星星的名宁。例如“狮子座流星群”就是辐射点在狮子星座附近的流星群。

## 五、木星的观测

### （1）观测条件。

了解相关大气知识，选择适宜时间、地点进行观测，能够节省时间。在架好望远镜准备观测之前，目视一下夜空，如果星星在天空中闪烁，则表明大气层有扰动，观测条件不佳。观测需要稳定的大气条件及清晰的视野。良好的夜空环境有时可能会显得较为模糊。月球与行星观测者协会（ALPO）制定了观测条件的评估体系。从 0 到 10 的评估观测条件。评估值低于 5 的环境，不宜观测。行星的最佳观测时间在夜晚，但由于木星十分明亮，有时在黄昏后或黎明前一段时间也能观测。黄昏时，木星从东方升起，后逐渐向西越过天空。在中北部地区，太阳东升前，木星在西方落下。

### （2）观测步骤

使用双筒望远镜寻找木星。寻找平坦的观测地点，最好将相机安装在三角架，或其他稳固的物体上，以确保观测时的稳定性。使用双筒望远镜时，木星在视野里呈白色圆盘状。在木星周围可以看见一至四颗不同大小的光粒，它们是木星的四颗伽利略卫星。1610 年，伽利略分别给这四颗卫星命名为木卫一，木卫二，木卫三，和木卫四。木星至少有 63 颗卫星。能看见多少颗卫星取决于它们绕木星公转所处的位置。定位木星后，便可以使用天文望远镜详细观测行星表面，以及特征部分。木星以横绕星体的深色云带和浅色区域而闻名。尝试观测中部浅色的赤道区以及北部和南部的深色赤道带。木星最迷人的特征之一便是大红斑。大红斑是位于赤道南侧、长达 2 万多公里、宽约 1.1 万公里的一

个红色卵形区域。大红斑宛如一个以逆时针方向旋转的巨大漩涡，其实是一个椭圆形超级风暴，这也是太阳系中最大的超级风暴，每小时时速可达 400 千米，可以容纳下三至四个地球。其外部出现深红色，并镶嵌着淡黄色、橙色和白色结构。自第一次观测到大红斑以来，其已存在了 300 年，但大红斑的直径正逐渐变小。你能清晰地观测到木星表面的快速变化。一个小时内，大红斑便会横绕星体，消失在视野里。大红斑有时色彩艳丽，有时十分暗淡，只略微带红或只有红斑的轮廓。其强度相同，有时可能无法观测到。大红斑并不是完全的红色，而是呈橙色或浅粉色。

### (3) 观察记录

a 绘制记录。在对木星仔细观测后，可以通过绘制木星来记录观测。记录分析所观测的天体基本上就是一个天文学民间版本。木星千变万化，尽量在二十分钟左右绘制完毕。形成绘制记录的观测习惯，将会得到一部天文绘图。

b 木星摄影。如果嫌绘制太麻烦，可以通过拍摄来记录观测。和望远镜一样，也有高性能或者入门级的相机可供选择，无论哪一种都能达到目的。有的观星者会使用电荷耦合器件照相机，或者廉价轻便的摄像头配合望远镜来拍摄行星。如果使用数码单反相机，长时间的曝光会使卫星成像更清晰，但木星云带部分会显得十分暗淡。

c 木星动画。想要呈现出木星表面对比变化，或者卫星位置的移动，可以拍摄动画。方法和摄影相同。记录比较每次的观察结果，以跟踪记录行星表面的变化，发现感兴趣的东西。木星云带变化多端，行星的外观在短短几天内就能发生巨大改变。

## 参考文献

- [1]金祖孟.地球概论(第二版) [M].北京:高等教育出版社,1978.
- [2]金祖孟、陈自悟.地球概论(第三版) [M].北京:高等教育出版社,1997.
- [3]余明.地球概论[M].北京:科学出版社,2010.
- [4]余明.简明天文学教程[M].北京:科学出版社,2001.
- [5]仁钦道尔吉.地理学名词术语[M].呼和浩特:内蒙古教育出版社,2005.
- [6]曹琦.地球[M].长春:吉林人民出版社,2005.
- [7]李昕.天文观测与探索百科全书[M].北京:中国华侨出版社,2014.
- [8]李津.美丽神奇的星空[M].长春:北方妇女儿童出版社,2000.
- [9]郑文光.中国天文学源流[M].北京:科学出版社,2000.
- [10]姚建民.天文学知识基础[M].北京:清华大学出版社,2008.
- [11]张闻玉.中国古代历法讲座[M].桂林:广西师范大学出版社,2007.
- [12]陈金久.中国古代天文家[M].北京:中国科学技术出版社,2007.
- [13]陈晓中、张淑莉.中国古代天文机构与天文教育[M].北京:中国科学技术出版社,2008.
- [14]徐道一.天文地质学概论[M].北京:地质出版社,1983.
- [15]中国慕课.福建师范大学《地球概论》, <https://www.icourse163.org/course/FJNU-1002580003>