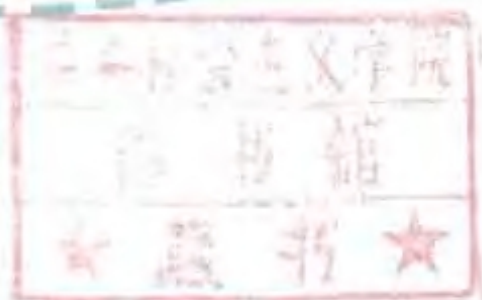
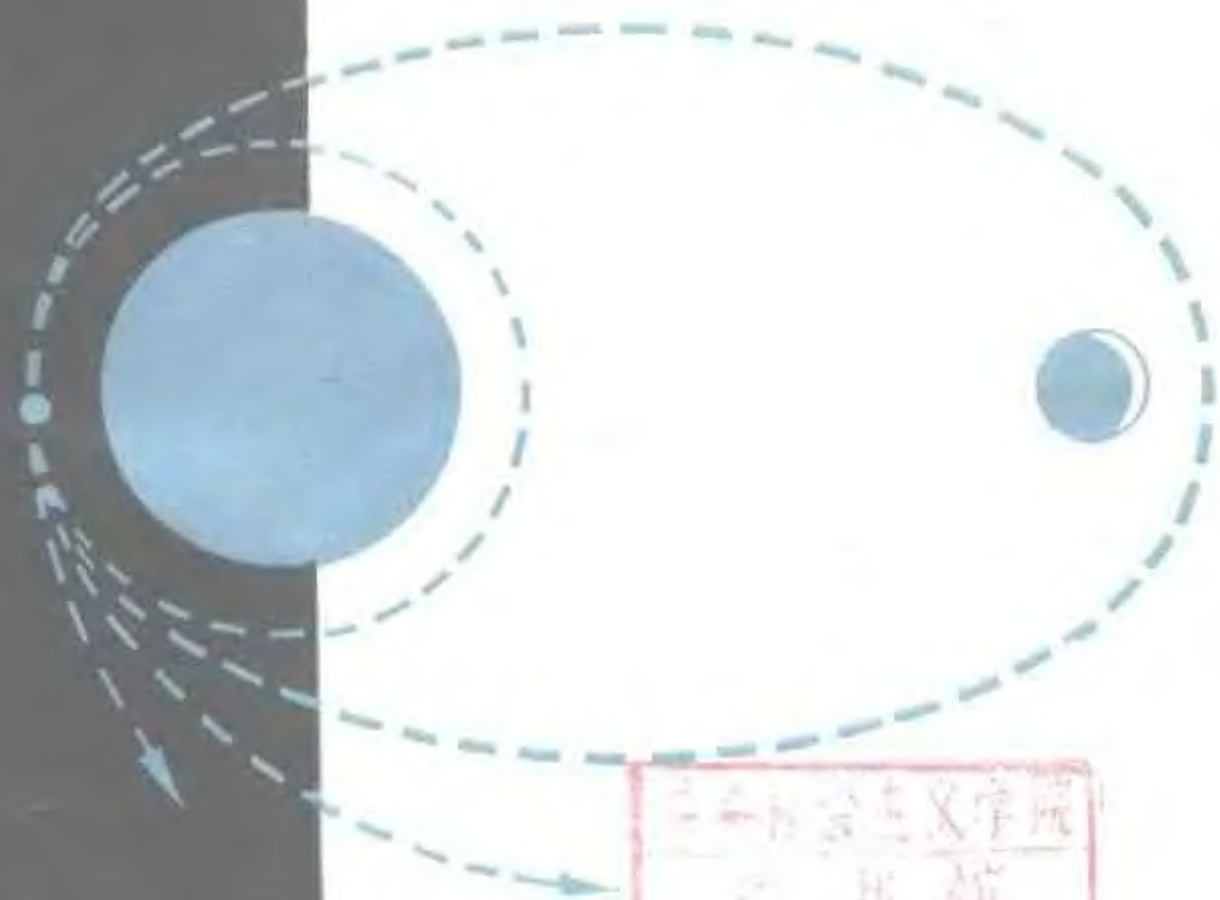


高等学校教学用书

地球概论

郭瑞涛 编著

北京师范大学出版社



70314

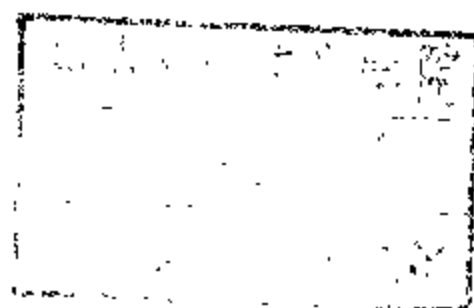
高等学校教学用书

地球概论

郭瑞涛 编著



200259111



北京师范大学出版社

高等学校教学用书

地球概论

郭瑞涛 编著

*

北京师范大学出版社出版发行

全国新华书店经销

北京师范大学印刷厂印刷

开本：850×1168 1/32 印张：7 字数：165千

1988年1月第1版 1988年1月第1次印刷

印数：1—3 000

ISBN7-303-00055-0/K·3

定价：1.30元

内容简介

本书为高师专科地理专业基础课教材。全书共分五章，包括地天的宇宙环境、地球的运动、地月系、时间和历法、地球等。内容简练，通俗易懂，便于学习。与同类书相比，有关地球特别是联系自然地理环境的内容更加突出。

该书可供高师专科班、中学地理教师进修以及函大、夜大等大专班使用。

本书插图清绘：彭庆祥

说 明

目前，各类学校和各种形式办学所用教材供不应求，特别是中学地理教师进修教材，更是急需。为此，我们根据1984年教育部颁发的“中学教师进修高等师范专科地理专业教学大纲”（试行）编写了这套教材，包括中学地理教材教法、地球概论、地质学基础、地图概论、自然地理基础、气象学基础、中国地理和世界地理。

针对现有高等学校教材内容“偏深、偏难、偏多、偏杂”的缺陷，根据“在保证完成教学大纲规定的基本要求前提下，可以灵活掌握并作适当调整”的精神，我们编写的这套教材，力求作到浅一些、通俗一些、少一些、重点突出一些，以更好地适应当前中学教师进修的需要。

这套教材除适应中学教师进修使用外，也可供高师专科班、函授、夜大等大专班使用。

这套教材准备1987年起陆续出版，以解决当前之急需。

由于时间急迫和我们的水平所限，内容难免有错误和不妥之处，望读者指正。

北师大高等师范专科地理专业教材
编委会

绪 论

地理科学是研究地理环境的形成、结构及其发展演化规律的科学。影响地理环境的因素甚多，它们之间的关系非常复杂。从宏观上来看，影响地理环境的因素可以分为两大方面：外部因素和内部因素。外部因素包括地球的宇宙环境及其在宇宙中的运动等内容；内部因素包括组成地理环境诸要素的作用及其相互之间的关系。外部因素和内部因素综合作用的结果，才形成了地理环境，并决定着它的发展和演化。从微观上看，地理环境的形成、发展和演化，主要决定于物质的循环和能量的转换过程。

由此可见，地理科学研究的内容是十分广泛，十分复杂的。所以它派生出许多分支学科，从各个方面来研讨，共同完成对地理环境的研究。

地球概论是地理专业的基础课程之一，它的主要内容是：外部因素对地理环境的影响。地球处于茫茫宇宙之中，宇宙环境，其中特别是太阳、月球，它们在能量和引力等方面对地球产生着显著影响，对地理环境有着明显的作用；地球本身是个近似球形的天体，它在宇宙中的位置和运动，特别是在太阳系中的位置和运动状况，对地球表面获得能量的多少和时空变化有着决定性的意义。这些都是地球概论中所要阐述的重要内容。

地球概论涉及到天文学、地球科学等方面的内容，其最终的目的在于说明地球表面能量在空间分布和时间变化的规律性，而能量的时空分布和变化，对地理环境的形成、状况和变化具有决定性的意义。由此可见，地球概论既不是单纯的天文学，也不是单纯的地球科学，而是融会了这两方面的有关内容。

通过学习《地球概论》可以解答许多有兴趣的问题，比如：宇宙究竟是什么样子？宇宙会毁灭吗？太阳的巨大能量是从哪里来的？它还能维持多长时间？地球上的季节和昼夜是怎样形成的？地球上为什么发生日食、月食以及潮汐等现象……这些内容也是广大青少年所必备的自然科学知识，作为从事地理教育工作的教师必须从基本原理上加以掌握，以教育我们的下一代。同时，也为学生们学习地理专业的其他课程打下基础。

地球概论是一门实践性很强的课程，在学习过程中要逐步学会观察和思考。比如：通过对日月星辰的位置变化观察，可以帮助我们理解天体运行的状况，特别是地球在太阳系中运行的状况；通过对月相圆缺的观察，对潮汐涨落的观察，可以帮助我们理解日、月、地之间的相互关系以及这些现象的成因。细心的观察、逻辑的判断、正确的结论，是学好地球概论必经的途径。

通过观察和判断，在我们的脑子里建立起科学的空间模型是很重要的。例如：宇宙的空间模型、银河系的空间模型、太阳系的空间模型等等。而且这种空间模型是动态的空间模型。这种既是现实的，又是想象的，正确形象的模型的建立，是掌握本课内容的关键。

一个观察者与体积为10800亿立方公里的地球相比是渺小的，而一个地球与无限的宇宙相比更是微不足道的，正是因为观察者的对象太大了，所以要正确地全面地了解它是十分困难的。尽管我们现在已经步入宇航时代，但我们对于地球，特别是对于宇宙的了解，只能说是略知一二。地球上特别是宇宙中的许多现象还没有得到正确的答案，而更多的现象我们还没发现。因此，《地球概论》所介绍的内容，仅仅是一些肤浅的认识，许多未知世界还有待于今后去努力解决。

《地球概论》内容安排的层次是从宇宙到地球，也就是先给读者以宇宙的总体概念，而后再介绍地球的运动、结构和特征等

内容。这样从全局到局部（从宇宙到地球）的安排，有利于正确认识的建立，而避免“瞎子摸象”得出错误的理解。同时，也明确了本书的议题是归宿到地球上，是为阐明地理环境的形成而服务的。

目 录

绪 论	(1)
第一章 地球的宇宙环境.....	(1)
第一节 宇宙概述.....	(1)
一、宇宙的概念.....	(1)
二、主要天体.....	(3)
三、天球和星座.....	(4)
第二节 太阳系.....	(5)
一、太阳系的组成.....	(5)
二、太阳.....	(6)
三、行星.....	(21)
四、太阳系中的其它天体.....	(37)
第三节 银河系.....	(40)
一、恒星.....	(40)
二、星云和星际物质.....	(47)
三、银河系的形状和结构.....	(48)
第四节 河外星系、总星系.....	(50)
第五节 天体的起源和演化.....	(51)
一、太阳系的起源.....	(51)
二、恒星的起源与演化.....	(53)
第六节 空间探测和空间开发.....	(55)
一、空间飞行的基本原理.....	(57)
二、空间飞行器.....	(62)
三、空间开发.....	(65)
四、我国空间技术概况.....	(66)
本章总结.....	(67)
复习题.....	(68)
第二章 地球的运动	(70)

第一节 地球的自转	(70)
一、地球自转的基本特性	(70)
二、地球自转的证据	(73)
第二节 地球自转的地理效应	(77)
一、地理坐标的确定	(77)
二、昼夜交替	(78)
三、水平运动的偏向	(78)
第三节 地球的公转	(80)
一、天球坐标	(80)
二、地球公转的基本特性	(87)
三、地球公转的证据	(92)
第四节 地球公转的地理效应	(94)
一、太阳的回归运动	(94)
二、季节的形成	(98)
三、五带的划分	(112)
本章总结	(114)
复习题	(115)
第三章 地月系	(117)
第一节 月球	(117)
一、月球的主要特征	(117)
二、月球的运动	(122)
第二节 日食和月食	(129)
一、日食和月食的形成	(130)
二、日食和月食的过程	(136)
三、日、月食的周期	(138)
四、观测日、月食的意义	(140)
第三节 天文潮汐	(141)
一、潮汐及其类型	(141)
二、潮汐的形成	(143)
三、海洋潮汐	(146)
本章总结	(146)

复习题.....	(147)
第四章 时间和历法	(148)
第一节 时间	(148)
一、概述.....	(148)
二、真太阳时和平太阳时.....	(149)
三、地方时和区时.....	(151)
四、时间计量的发展.....	(155)
第二节 历法	(156)
一、概述.....	(156)
二、太阴历.....	(157)
三、太阳历.....	(158)
四、阴阳历.....	(160)
五、其它历法.....	(162)
六、历法改革.....	(166)
本章总结.....	(168)
复习题.....	(169)
第五章 地球	(170)
第一节 地球的形状和大小	(170)
一、地球的形状.....	(171)
二、地球的大小.....	(173)
第二节 地球的主要物理性质	(174)
一、质量和密度.....	(174)
二、地球的重力.....	(175)
三、地球的磁性.....	(177)
四、地球的内部温度及其热源.....	(179)
第三节 地球的结构	(182)
一、地球的圈层结构.....	(182)
二、地球的内部结构.....	(183)
三、地表结构的特征.....	(186)
第四节 地球与人类	(191)

一、地球是人类的发源地·····	(194)
二、人口的增长及其后果·····	(195)
三、人—地要协调发展·····	(196)
本章总结·····	(197)
复习题·····	(197)
附 录 ·····	(199)
一、天文上常用的距离单位·····	(199)
二、不同级别天体系统的大小·····	(199)
三、有关太阳的数据·····	(199)
四、有关月球的数据·····	(200)
五、星座表·····	(201)
六、北半球中纬地区各季节最亮星·····	(205)
七、有关地球的数据·····	(206)
八、地球表面结构特征数据·····	(207)
九、四大洋的面积和深度·····	(208)
十、世界各大洲的面积和高度·····	(208)
十一、地球的圈层结构·····	(209)
主要参考书 ·····	(209)

第一章 地球的宇宙环境

通常所说的环境，是指以人类为主体的周围一切事物所构成的总体。本章所述“地球的宇宙环境”，是指以地球为主体的周围一切事物所构成的总体，即宇宙环境。

地球是人类的故乡，地球上的大气、水、岩石、土壤和生物的综合作用，哺育着人类，形成了地球表面独具一格的物质世界，称之为地理环境。为了更好地研究地理环境，首先就要了解更高层次的大环境，这就是地球的宇宙环境，因为前者是在后者中孕育、发展起来的。

在茫茫的宇宙中，运行着无数个形形色色的天体，太阳就是其中之一，它是一颗普通的恒星。地球是围绕太阳运行的一个小天体，在太阳的哺育下，它在发展、演化着。

第一节 宇宙概述

一、宇宙的概念

很早以来在我国对宇宙就有科学的解释，战国时尸佼在《尸子》中写道：“四方上下曰宇，古往今来曰宙。”“宇”无限空间之意，“宙”无限时间之意。即宇宙就是无限空间和无限时间的统一。

从现代的观点来看，宇宙就是普遍、永恒的物质世界。“普遍”表示物质在空间分布上是无限广延的，它是无边无际的；“永恒”表示物质运动在时间上是连续的，它是无限发展的。

宇宙根本的特点就是普遍性和永恒性。宇宙本质上是无限

的，但是表现在我们面前的宇宙，即人们所认识的宇宙，又总是有限的。人类认识宇宙的过程，就是一个永无穷尽地从有限扩大到无限的过程。“这样人们就处于矛盾之中：一方面，要毫无遗漏地从所有的联系中去认识世界体系；另一方面，无论是从人们的本性或世界体系的本质来说，这个任务都是永远不能完全解决的。”（《反杜林论》）

组成宇宙的具体成员——天体和天体系统，在空间分布上和时间发展上又都是有限的，一个个具体的有限无穷尽地总和起来就是无限。所以说，宇宙在时空上都是有限组成的无限，是有限和无限的辩证统一。

宇宙究竟是什么样子？这是科学家们长期以来探索的重要课题之一，至今人们还处在认识过程之中，对宇宙的认识不断取得新的进展。从对宇宙的认识过程来看，对“宇宙”的理解可分为三种情况。

第一，亚里士多德-托勒密为代表，他们认为地球是宇宙的中心，宇宙是有限有边的同心球结构。哥白尼日心说的问世，布鲁诺在日心地动说的基础上又进一步提出了宇宙的无限性，从此亚里士多德-托勒密的宇宙说彻底破产。

第二，伽利略-牛顿为代表，在牛顿力学的基础上，建立了宇宙无限无边的理论，就是说，宇宙的面积是无限的，没有空间边界，无限的天体分布在无限的空间之中。宇宙无限论的观点，无论在自然科学上，还是在哲学上，在20世纪初已经为多数人所承认。

第三，爱因斯坦在广义相对论的基础上，提出了新的宇宙模型。他认为，宇宙是有限无边的，即宇宙空间的面积是有限的，是一个弯曲的封闭体。这个弯曲的封闭体没有边界，类似一个球面，面积有限，但是沿着球面运动总也遇不到“边”。

无论是牛顿的无限宇宙论，还是爱因斯坦的有限无边的宇宙

模型，仅仅是认识宇宙的一页，这种认识远远没有完结，随着现代科学技术的发展，人类对宇宙的认识将会更加前进。

二、主要天体

仰望天空气象万千，白天红日高照，夜晚明月当空，星光闪耀……我们把宇宙间各种星体通称为天体。天体的种类繁多，如恒星（包括太阳）、行星（包括地球）、卫星（包括月球）、小行星、彗星、流星等都是天体。

恒星是由炽热气体所构成的、能自己发光的天体。太阳是距离地球最近的一颗恒星，其他恒星如天狼星、牛郎星、织女星等，距离地球都很远，所以看起来仅是个闪闪发光的光点。

古代受科技水平的限制，观测精度不高，所以一直认为恒星的相对位置是不变的，故称为恒星，以示和运动比较明显的行星区分开。1609年伽利略发明望远镜以来，天文观测工具不断发展，人们才了解到恒星也是在不断地运动着。由于恒星距我们太远，它们的位置改变，在短时间内不易觉察，以致看上去恒星之间的相对位置大致不变。经过长期的观测，就可发现恒星之间的相对位置也是在不断变化的，如北斗七星现在排列呈现“勺”状，数万年前或数万年后，它们的形状都不是这样。

恒星是散布于宇宙中的最主要的天体，它占有宇宙中绝大部分质量，所以对恒星的研究是天文学中最主要的内容，已形成恒星物理学、恒星天文学等专门学科。

除恒星之外，天空中还游动着许多行星。行星是围绕着恒星特别是围绕着太阳作轨道运动的天体，行星一般不发射可见光，通常我们看到的行星，因反射太阳光而显得明亮。

目前已知太阳系内有九大行星和2000颗以上的小行星。太阳系之外是否还有行星呢？可能性是存在的。现在已知，和太阳系邻近的某些恒星存在着质量较小的伴星，虽然这些伴星的质量比太阳系的行星质量要大些，但它们的质量还是由于太小，而使本

身不能发光，与其说是小的恒星，还不如说它们更象行星。这说明，行星系统在宇宙中并不是稀有的。

三、天球和星座

仰望夜空繁星闪烁，虽然这些天体与我们的距离差别很大，但都很遥远，我们用眼观察很难鉴别它们的远近，看去都好象镶嵌在天空球面上。人们为了便于研究天体，假想以观测者为中心，以无限长为半径所作的球，就称为天球。沿观测者对于天体的视线，将该天体投射到这个假想的球面上，使天体方向间相互关系的研究，简化为球面上点与点间相互关系的研究。

所以，天球仅仅是为了便于研究天体，而人为地假想的球，它实际上并不存在。

在天球上，又可人为地确定一些特殊的点和圈，从而建立坐标系（见第二章“天球坐标”）。通过一定的坐标系就可以确定天体的空间位置及其运动状况。

夜晚，我们看到的天体绝大部分是恒星，恒星的数目很多，我们人眼只能看到全天球约6000颗恒星。

为了便于认识星空，识别这些恒星，古代巴比伦人将天球划分为许多区域，叫做“星座”。每一星座可由其中亮星的特殊分布而辨认出来，如：七颗亮星排列象勺子形状的，叫做“大熊座”（中名“北斗”）。星座的名称多采用动物名，或希腊神话中传说的人物名。现在国际上把全天球的恒星，按其组成的几何图形，划分为88个星座（见附录）。象小熊、大熊、仙后、金牛、猎户、大犬、天琴、天鹰等都是大家熟知的星座。

星座中的恒星，依我们肉眼所看按其亮度的大小排列，分别以希腊字母 α 、 β ……命名，最亮的星为 α ，次之为 β 依次类推。小熊座 α 星就是北极星，大犬座 α 星中名是天狼星，它是我们看到的最亮的恒星。天琴座 α 星中名织女星，和它遥遥相望的牛郎星是天鹰 α 星，中名也叫河鼓二。

我国古代把全天的恒星分为三垣、二十八宿，用四象表示天空东、南、西、北四个方向的星象。它们分别是：太微垣、紫薇垣、天市垣，合称三垣；四象和二十八宿为东方青龙七宿（即角、亢、氐、房、心、尾、箕），南方朱雀七宿（即井、鬼、柳、星、张、翼、轸），西方白虎七宿（即奎、娄、胃、昂、毕、觜、参），北方玄武七宿（即斗、牛、女、虚、危、室、壁）。二十八宿早在我国殷代开始形成，至周代最后确定下来，这是我国祖先在天文学上的伟大成就之一。

第二节 太阳系

一、太阳系的组成

在亿万颗恒星中，太阳是一颗普通的恒星。在太阳的周围包括其他一些小天体，组成了以太阳为主体的集团，就是太阳系。具体地讲，太阳系是由太阳、行星及其卫星、小行星、彗星、流星体和星际物质构成的天体系统。

太阳是太阳系的中心天体，其他天体在太阳的引力作用下，绕太阳运动。同时，整个太阳系也在宇宙中运动。

在太阳周围分布着九大行星，依距太阳由近及远的顺序，依次为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星。它们都在各自的近圆轨道上绕太阳公转着。同时本身也在自转。

卫星是更次一级的小天体，九大行星中绝大多数都有卫星，卫星绕行星公转。同时卫星又随同行星绕太阳运行。现在还有许多人造地球卫星，围绕着地球运行，也有许多空间探测器和宇宙飞船在太阳系中遨游着，探索着宇宙的奥秘。

除九大行星外，还有许多小行星，它们主要集中分布在火星和木星绕日公转轨道之间。目前已发现并算出轨道的有 2700 多

颗小行星。

彗星是太阳系中独特的成员，在形状上和运行轨道上都很特殊，它也绕太阳运行。目前已观测到1400多颗彗星。

此外，在行星际空间还游荡着无数的流星体。在太阳与其他恒星之间的广阔空间还弥漫着星际物质。

可见，太阳系就是在太阳的主宰下，因其引力作用，在一定的空间范围内，形成的具有一定的组成成分和结构特征的天体系统。

二、太阳

太阳虽是颗普通的恒星，但它是太阳系的中心天体，所以对太阳系来说，太阳占有特殊的重要地位。对地球来说，太阳更是最重要的天体，它与地球上的一切生命活动，特别是人类活动息息相关。

太阳是太阳系中唯一能自行发光的天体，是太阳系中能量和热量最主要的来源。太阳占有太阳系总质量的99.87%。正是由于太阳有这样绝对优势的巨大质量，在其引力作用下，才能制约着其他天体，形成有秩的物质体系——太阳系。从体积来看，太阳体积约为地球体积的130万倍，为所有行星体积总和的600倍。因此说，太阳在太阳系中占有特殊重要的地位。

1. 日地距离、

太阳的大小和质量

日地距离 地球绕太阳公转的轨道是个椭圆，太阳位于一个焦点上，所以日地距离时刻在变化着（见图 1-1）。日地

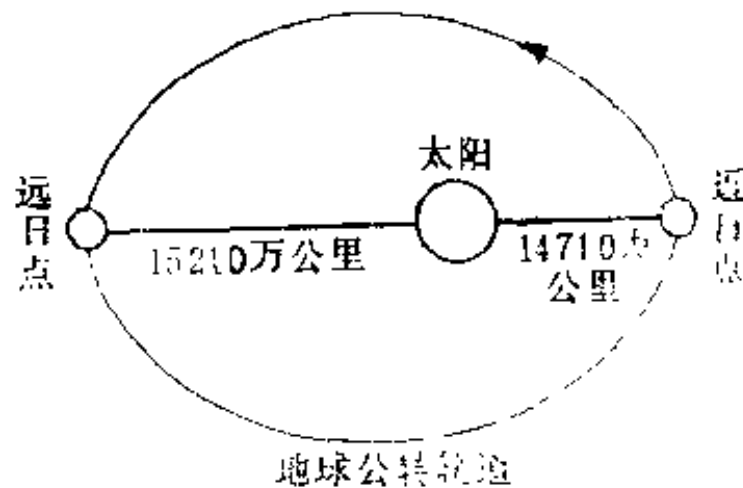


图1-1 日地距离示意图

最远距离(地球处于远日点)为15210万公里, 日地最近距离(地球处于近日点)为14710万公里。日地平均距离为14960万公里, 这个数值在天文学上作为一个长度单位, 叫天文单位。天文单位是用来度量太阳系内天体之间距离的基本单位。

近年来, 用雷达探测的方法算出日地距离最新的数值为 1.49597892×10^8 公里。

在天文学上度量遥远天体之间的距离常用光年, 即一年里光所传播的距离, 其值为 9.461×10^{17} 公里。太阳光传播到地球上需 8 分 18 秒。除太阳之外, 距离地球最近的恒星是半人马座比邻星, 其距地球值为 4.3 光年。

太阳的大小 我们在地球上看到的光亮的太阳圆面, 叫太阳视圆面。通过仪器可以测得太阳视圆面直径(称视直径)所张的角度平均为 $31' 59'' .3$ 。则视半径的张角为 $15' 59'' .65$, 以 α 表示。日地平均距离 a 已知, 所以, 太阳的平均半径 $R = a \sin \alpha = 6.96 \times 10^5$ 公里。

由此可知, 太阳半径约为地球半径(约为 6371 公里)的 109 倍。体积约为地球的 130 万倍。

太阳的质量 太阳巨大的质量可以推算求出。依万有引力定律, 太阳和地球之间的引力为 $F = G \frac{M \cdot m}{a^2}$ 。式中 M 为太阳质量, m 为地球质量, a 为日地平均距离, 其值为 14960 万公里(即 1496×10^{10} 厘米) G 为万有引力常数, 其值为 6.67×10^{-8} 达因·厘米²/克²。又知地球绕太阳公转的向心力为 $f = \frac{mv^2}{a}$ 。式中 v 为地球绕太阳公转的线速度, 平均值为 2.978×10^6 厘米/秒。因为地球绕太阳公转的向心力正是太阳对地球的引力, 所以 $F = f$

$$\text{即 } G \frac{Mm}{a^2} = \frac{mv^2}{a} \text{ 依此式可得:}$$

$$M = \frac{av^2}{G} = 1.989 \times 10^{33} \text{克} = 1.989 \times 10^{27} \text{吨}$$

所以太阳质量约为 2×10^{27} 吨，相当于地球质量 (6×10^{21} 吨) 的33万多倍，占太阳系总质量的99.87%。

依太阳的质量和体积，便可求出太阳的平均密度为1.41克/厘米³，约为地球平均密度(5.52克/厘米³)的1/4。太阳各部分的密度相差悬殊。气体表面的密度很小，仅为 10^{-7} 克/厘米³。内部承受外面气体的巨大压力，物质甚为密实，太阳中心的密度高达90克/厘米³。

太阳的质量为地球的33万倍，而半径为地球的109倍。由此可知，日心引力比地心引力大 $330\,000/109^2 \approx 28$ 倍。

2. 太阳的热能和湿度

太阳是太阳系光和热的主要源泉。太阳已经有50亿年的历史了，在这漫长的岁月里它释放出多么巨大的能量！太阳是以电磁波的形式向外传播能量的，称为太阳辐射。太阳向外放射的电磁波波长范围很广，目前已测量到波长从300米的射电波到小于1Å (埃) 的x射线 ($1\text{Å} = 10^{-8}$ 厘米)。太阳辐射能量分布很不均匀，95%以上的能量集中在2900—25000Å 之间狭窄的波段内，其中可见光的波长范围为4000—7600Å，仅可见光部分就占太阳辐射能量的48%。

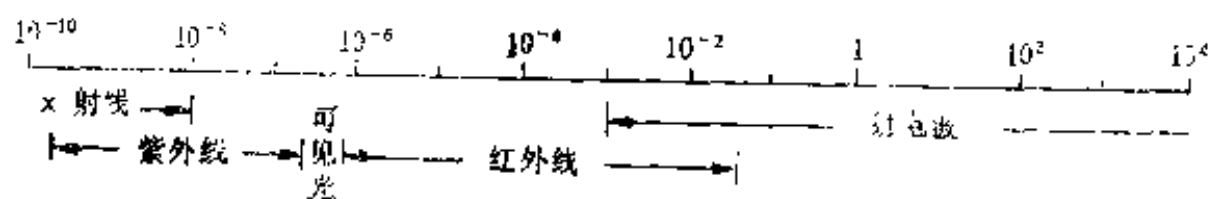


图1-2 太阳电磁波(波长单位: 米)

究竟太阳放射出来的热量有多大？首先确定一个衡量热量的单位，叫太阳常数。太阳常数就是在没有大气的影下，在日地

平均距离处，地球表面每平方厘米面积上，太阳光垂直照射的情况下，每分钟接收的太阳辐射能。其值为 1.97 卡/厘米²·分。现在可以利用人造卫星携带仪器在地球大气外进行观测而得到太阳常数值。

知道了太阳常数，就可以算出太阳每分钟向宇宙空间辐射的总能量。它的大小相当于以日地距离为半径的球面上所获得的能量。其值为： 1.97 卡/厘米²·分 $\times 4\pi \times (1.496 \times 10^{13})^2$ 厘米² = 558×10^{26} 卡/分。

依据太阳常数，也可以算出地球表面每分钟获得的太阳辐射值。地球是个球形，被太阳照射的半球所得能量就等于地球半径的圆面上太阳光垂直照射下，所获得的能量，其值为： $\pi \times 6.371 \times 10^8)^2$ 厘米² $\times 1.97$ 卡/厘米²·分 = 2.5×10^{18} 卡/分，即 250 亿亿卡/分。它仅相当于太阳向宇宙空间辐射总能量的 1/22 亿。

到达地球表面的太阳辐射尽管只占太阳辐射总量极小的部分，但它足以维持着发生在自然地理环境中各种自然现象和过程的进行，特别是对生命活动更具有重要意义。

任何物体辐射出能量的多少与该物体表面温度有关。表面温度愈高，辐射出的能量愈多。因此，可根据太阳辐射能量推知太阳的表面温度。计算结果表明，太阳表面的平均温度值为 5770K (K 为绝对温度符号，它与摄氏温度 C 的关系是 $0^\circ\text{C} = 273\text{K}$)。这仅是太阳表面温度，太阳内部的温度还要高得多。据理论计算，太阳核心的温度高达 1500 万 K 。我们知道鼓风机里的铁水温度也不过 2000°C 左右。太阳如此高温，组成它的物质只能是高度电离的气态物质。

3. 太阳的能源

太阳每分钟辐射出 5580 亿亿亿卡的能量，如此巨大的能量消耗已经进行 50 亿年了，这样巨大的能量究竟是怎样产生的呢？在 20 世纪以前，科学家们提出过种种解释，但都不能令人信服地说

明太阳能量的来源问题。无论是化学反应，还是太阳重力收缩等等，都不能解释，这么大的能量而又维持这么长的时间。

本世纪初，爱因斯坦创立相对论后，关于太阳的能源问题才找到了正确的答案。按照相对论理论，质量和能量可以互相转化。与 m 克物质相当的能量为

$$E = mc^2$$

式中 c 为光速等于 3×10^{10} 厘米/秒

按照上述关系式，1克物质就可以产生约 2×10^{13} 卡的能量。这种物质转化成能量的过程在一般的条件下是不能进行的，只有通过原子核反应才能进行。原子核反应在极高温的条件下才能进行，所以也叫热核反应。

原子核反应过程中，进行着质—能的转化，而产生巨大的能量，即原子能。释放原子能有两种途径：重核的裂变和轻核的聚变。

重核的裂变就是把重化学元素的原子核分裂成为中等质量的原子核；轻核的聚变就是把轻化学元素的原子核聚合成较重质量的原子核。裂变或聚变时产生的能量即为：

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

式中 Δm 为核的质量亏损； ΔE 即为 Δm 质量转化的能量。

太阳能即属于核聚变所产生的原子能。太阳具有 2×10^{27} 吨的巨大质量，组成太阳的物质大约有 $3/4$ 为氢元素。而太阳中心温度高达1500万度，在这样高温条件下，氢原子会失去核外电子，而形成质子（即氢原子核）。在高温下，4个氢原子核聚合成1个氦原子核，发生核聚变而产生相应的原子能。1个氢核的质量是1.008个原子质量单位，而氦核的质量是4.004个原子质量单位。所以，4个氢核聚合成1个氦核就有0.028个原子质量单位的质量损耗。

$$\Delta m = 4 \times 1.008 - 4.004 = 0.028$$

现计算1克氢核聚变为氦核时，其质量损耗x值，即

$$4 \times 1.008 : 1 = 0.028 : x$$

$$x = 0.007 \text{ (克)}$$

0.007克转化为能量值 ΔE ，即

$$\Delta E = 0.007 \times (3 \times 10^{10})^2$$

$$= 6.3 \times 10^{18} \text{ 尔格}$$

$$\approx 1500 \text{ 亿卡}$$

所以，1克氢聚变为氦核时可产生约1500亿卡的热量，它相当于燃烧2700吨煤所发出的热量。

前面已知，太阳每分钟辐射的能量 558×10^{25} 卡，依此可以算出，太阳每分钟损耗2亿多吨的质量。这虽然是个不小的数字，但对太阳巨大的质量(2×10^{27} 吨)来说，又是微不足道的。

根据核反应质—能转化的理论，预计太阳的寿命为100亿年；目前它大约度过了一半，再过50亿年太阳核心的氢耗尽时，核心将会收缩，温度和密度将变得更高，将会发生氦核聚变成碳核的反应，那时太阳将变成一颗红巨星。

4. 太阳的结构

太阳表面温度有5000多度，而内部温度达上千万度，所以组成太阳的物质不可能是固态或液态的物质，而只能是炽热的气体。构成太阳的炽热气体，不是原子，而是等离子体。等离子体即因温度很高，而电离度很高的物质状态。有人把等离子体称为物质的第四态。构成物质的原子在高温下发生电离（例如氢原子离解为带正电荷的质子和带负电荷的电子），但正、负两种离子所带电荷的总量是相等的，因此称为等离子体。

目前我们只能观测到太阳表面的一些状态和性质，而对其内部无法直接观测，只能根据已知的状态和性质，来推断太阳内部的状况。通过建立太阳理论模型，来求知太阳的结构。同时，由于太阳是由等离子体组成的，要划分出太阳的层次结构界限也是

困难的。因此，我们只能大体上把太阳划分出几个部分加以研究。

整个太阳是个炽热的气体火球，从结构上可分为两大部分：内部为稠密的气体，外部为稀薄的气体（见图1-3）。

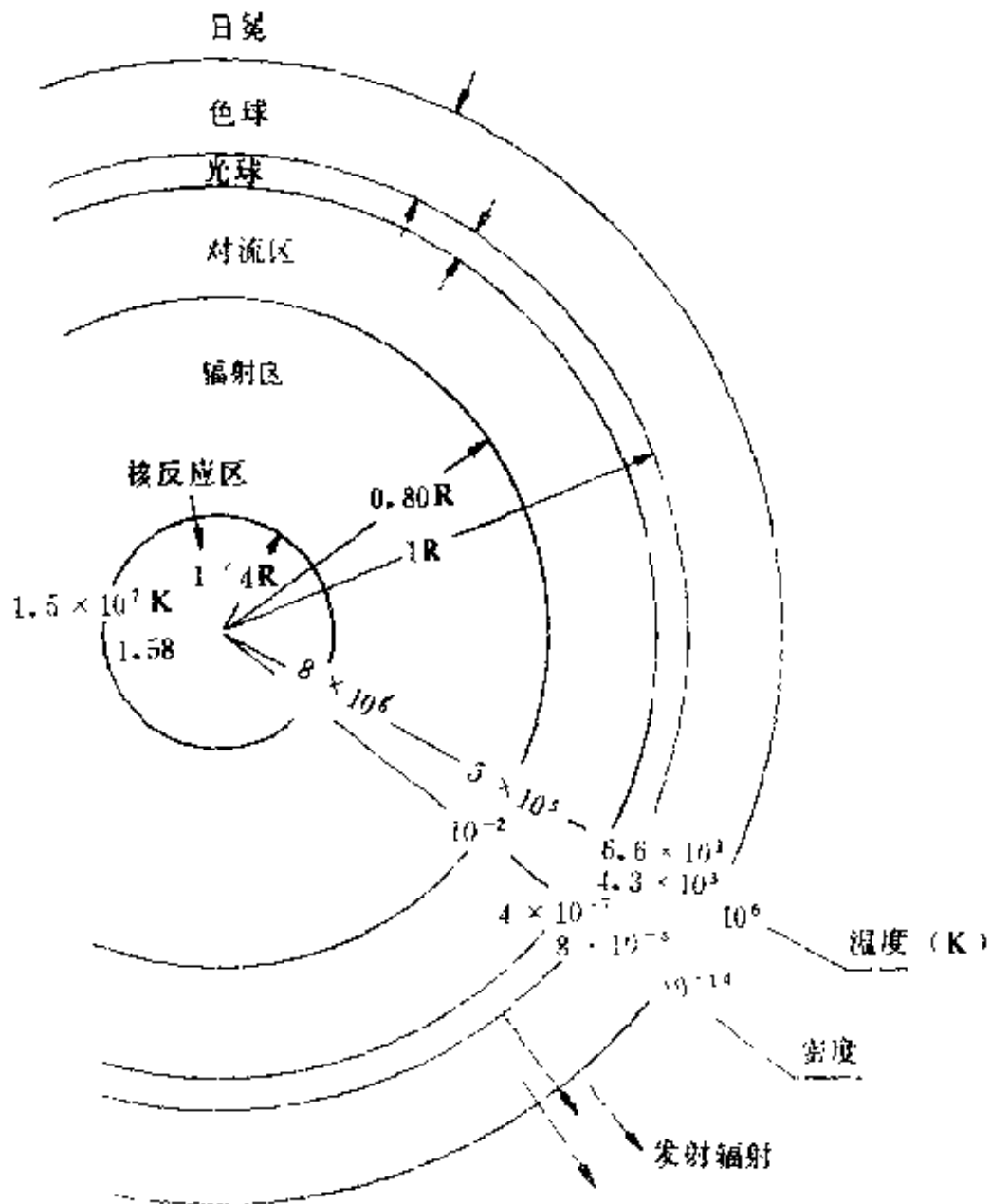


图1-3 太阳结构示意图

太阳内部由中心向外可划分为三个同心圈层：

核反应区 太阳中心到 $1/4$ 太阳半径范围内氢氦热核反应产能区。温度高达1500万K，密度高达90克/厘米³。它是整个太阳

也是太阳系的巨大能源基地。

辐射区 核反应区外围广大的辐射输能区。它的厚度达 $1/2$ 太阳半径。核反应区产生的能量以辐射的形式通过该区向外输送。

对流区 处于辐射区外，是太阳内部稠密大气的最外层，其厚度将近 $1/4$ 太阳半径。由辐射区输送的能量使该区温度达几万到几十万度，稠密炽热的气体处于升降起伏的对流状态。在太阳外层大气中产生的各种现象（如黑子、耀斑等）都与对流区大气活动有关。

太阳的外层稀薄气体又叫太阳大气。按不同的物理性质，又可将其划分为三个同心圈层：

光球 我们眼睛所见光芒夺目的太阳表面，就是光球。它在太阳大气的最底层，是包围对流区的一层薄膜，厚度仅500公里。平时所说的太阳直径和太阳表面温度，都是指光球而言的。地球上获得的太阳辐射是从光球放射出来的。

光球的平均温度5770K，与太阳内部温度相差甚多，所以从太阳内部到表面形成极大的温度梯度，这种温度分布显著的不均衡，造成了对流区大气的升降起伏的对流运动，这就是对流区形成的原因。

观察太阳表面，中央部分较亮，边缘部分较暗，叫“临边昏暗”现象。这是因为在地球上看到的中央部分大气能深入到较厚的大气层，在边缘部分只能见到较薄的大气层，而较

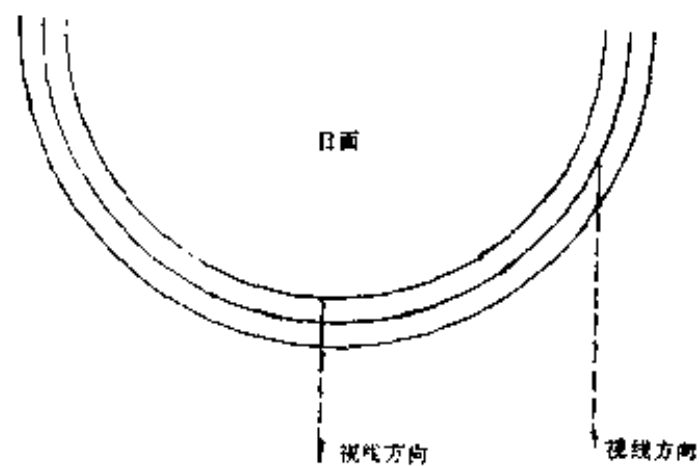


图1-4 临边昏暗现象的成因

深的大气温度高，上层的大气温度又较低，所以中央部分较边缘部分要明亮些（见图1-4）。

仔细观察光球表面，可以发现它是不均匀的，具有颗粒状的结构，称为米粒组织。米粒的形状大部呈长圆形，直径在1000公里左右，个别大的直径可达30000公里，称超米粒。米粒中心亮边缘暗。温度比光球高300—400K。它的寿命平均七八分钟。

“米粒”是其下部对流运动的反映。光球下面对流区里的上升气流达到光球表面，因其温度高，就亮一些。整个光球表面就好象煮开锅的米粥。

发生在光球表面的黑子是人们最关心的太阳大气现象。在日面上经常出现许多黑色斑点，就是黑子。它是光球的大气旋涡，是太阳大气大规模运动而形成的。黑子的温度约4500K，比光球温度约低1000K，所以它显得发暗。黑子具有很强的磁场。

黑子大多数成群出现，有时也有单个黑子活动。一般情况下，一群黑子里有两个主要的黑子，这一对黑子，位置偏西的叫前导黑子，偏东的叫后随黑子。一个发展完整的黑子群，从单个小黑子出现，到两个主要黑子发育成熟，在其周围再出现许多小黑子，形成黑子群，以后又逐渐衰落，消失，这一历程需几十天。以光球上出现黑子数总体来看，黑子数从极小值到极大值，然后又衰减到极小值，这一周期平均约为11年。一个周期的第一批黑子出现，总是发生在日表 20° — 35° 之间的较高纬度，当黑子增大时，它们的产生区域向低纬移动，周期尾声的黑子，则产生在日面赤道附近的低纬度地区。在 5° — 35° 纬度范围之外，几乎见不到黑子。

连续观测黑子，可发现它们在日面上都朝同一方向自西向东移动，这是太阳自西向东自转的反映。根据黑子移动的速度，就可以确定太阳自转的速度。太阳自转速度随纬度增高而减慢，在赤道自转一圈需25天， 30° 处自转一圈需27天， 75° 处则需33天。

黑子的活动与太阳活动息息相关，当太阳黑子极多时，太阳活动也特别强烈。所以，11年的黑子活动周期也就是太阳活动周期。1749年后的第一个太阳黑子低值年（1755年）规定为太阳活动的第一个周期，目前正处于1976年6月开始的第21个周期的末期。

色球 在光球之上，厚度范围约为2000—2500公里的层次，称色球。平时我们看不到色球，只有当日全食时，光辉耀眼的光球完全被月球遮住，我们就可看到太阳圆轮边缘呈鲜红色，故名色球。色球的边缘不象光球那样清晰整齐，它很不均匀，由许多细小的“火舌”组成，它们叫针状体。针状体存在时间一般为10分钟左右，它们在色球中不断产生，又不断消失。色球的温度是随高度的增加而增温的，色球底层几千度，到高层达几百度。

在色球中最引起人们关注的是耀斑活动。耀斑是色球突然爆发的现象，表现为特别明亮的斑点。它来势猛，能量大。在短短的一二十分钟内可释放 10^{32} — 10^{33} 尔格的巨大能量！耀斑爆发与黑子活动有着密切的联系，它位于黑子群的上空及其附近。

在色球中另一种壮观的现象就是日珥。日珥是从色球喷发出的巨大火舌，形态多变，延伸到日冕大气之中。它上升的高度可达几万甚至一百多万公里，然后又落回日面，有的甚至脱离太阳引力，消散在宇宙空间。

日冕 在色球之外极为稀薄的大气即为日冕，它是太阳大气的最外层。当日全食时，在日轮周围观察到的清白色的光辉，便是日冕。它的范围可以伸展到几十倍太阳直径远的地方。实际上日冕大气极为稀薄，其密度约为 10^{-16} 克/厘米³，它是逐渐向宇宙空间过渡的，很难确定它的范围界限。

日冕的温度极高，可达100万—200万度，在此高温下，组成日冕的物质呈高度电离状态。

太阳大气为什么随高度的增加而温度急剧升高呢？目前尚无圆满的解释。有人认为其根源在对流区，对流区大气的波动传递到太阳高层大气，转化为热能，即波动加热所致。

日冕中存在一些黑暗的区域，叫做日冕洞。日冕洞的温度和密度比日冕低得多，所以显得黑暗，称其为“洞”。日冕洞是太阳磁场开放的区域，它的磁力线向行星际空间张开着，处于高度电离的氢和氦带电质点，顺着磁力线发射出来，它以300—1000公里/秒的速度，吹向行星际空间，这就是太阳风。或者说，太阳风就是由太阳日冕洞发射出来的，由等离子体组成的，吹遍太阳系行星际空间的，超音速气流。

5. 太阳活动

太阳除经常而稳定地向宇宙空间辐射巨大的能量之外，还存在着短时间内，局部爆发的现象，如光球上的黑子、色球上的耀斑和日珥等，这些现象统称为太阳活动。太阳活动的强弱程度，直接影响着太阳电磁辐射和高能粒子流的强度，它对太阳系，特别是对地球上的许多现象都有明显的影响。

太阳活动强弱的变化，平均为11年的周期，即太阳活动周期。太阳活动峰值年，黑子、耀斑、日珥等现象异常活跃，而到谷值年，这些现象便衰落下去，甚至消失匿迹。1976年就是太阳活动第21个周期的谷值年，1980年就是峰值年。峰值年正是科学家们抓紧观测黑子、耀斑、日珥等现象，研究太阳活动的大好时机。

太阳黑子、耀斑、日珥等现象都是随着太阳活动的总趋势而共同涨落，这是它们的发生、发展在时间上的一致性。这些太阳活动现象出现的位置也是一致的，它们大都集中出现在一定范围之内，称为太阳活动区。研究太阳活动区的发展史具有重大意义。

目前对太阳活动所表现的各种现象了解得还不十分清楚，但它们在发生、发展过程中，在时间上和空间上的一致性，说明它

们产生于共同的原因，有着共同的影响因素。目前推断，太阳活动产生的根源，很可能是在太阳大气下面的对流区。对流区等离子体剧烈的对流和湍流运动，在太阳大气中表现为复杂多样的太阳活动，而太阳磁场是控制等离子体运动和演变的重要因素，磁力线把太阳大气各层联系起来，并支配着各种形式的太阳大气活动。

一般以黑子的兴衰做为太阳活动的主要标志。近年来，对耀斑的研究尤为重视，因为它的突发性和巨大能量，似乎在太阳活动中占有更为重要的地位。

太阳风与太阳活动的强弱脉搏也是一致的。当太阳活动活跃期，太阳风的风速、温度和密度都加大；在太阳活动宁静期时，则都减小。它们变化的幅度：风速在300—1000公里/秒之间；温度在 5×10^4 — 5×10^6 K之间；密度在每立方厘米1—30个氢原子之间。

6. 日地关系

太阳以电磁波和高能粒子流的形式向外放射着巨大的能量和物质。太阳的能量流和物质流对地球发生着深刻的影响，它对地理环境的形成、发展、演化具有决定性的意义。

太阳是地理环境最主要的能量源泉。在地球表面，由大气、水、岩石、土壤以及生物界和人类组成了地理环境。在这个极其复杂的物质体系内，发生着形式多样，规模不等的各种现象和过程。大气中的风云变幻无穷；江河奔流，海洋波涛汹涌，洋流浩荡；岩石破碎，风雨侵蚀、搬运、堆积；生机勃勃的绿色植物制造有机物质，维持着整个生物界繁衍生殖，欣欣向荣等等。发生在地理环境中的这些现象和过程，经过数十亿年漫长岁月的演化，使地理环境在物质组成和结构特征上都发展到现今这样复杂、高级的阶段，使得地球的面貌大为改观而区别于其它天体。形成这样一个独特面貌——地理环境的能源主要来自太阳能。太

阳为地理环境所提供的光和热，是使其发展演化最主要的动力。太阳每分钟向地球发射的能量为250亿亿卡，尽管它仅占太阳总发射能量的22亿分之一，但它却是建造地理环境最主要的能量。

太阳风等离子体吹拂着地球，使地球磁场被压缩在一定的范围之内，形成一个被太阳风包围的地球磁层。由于地球磁层的存在，使得太阳风高能带电粒子不能到达地表，从而保护了地球表面有机体的生存和发展。地球磁层对太阳风的屏障作用也不是绝对的，有一部分高能带电粒子闯入磁层，但被磁层禁锢在地球高空，形成包围地球的强辐射带，称为范·艾伦辐射带(见图1-5)。它是由范·艾伦等人于1958年发现的。这个强辐射带好象是套在地球赤道周围的两个环子。由于范·艾伦辐射带对人类的宇航活动会造成严重危害，所以宇航活动要采取预防措施。

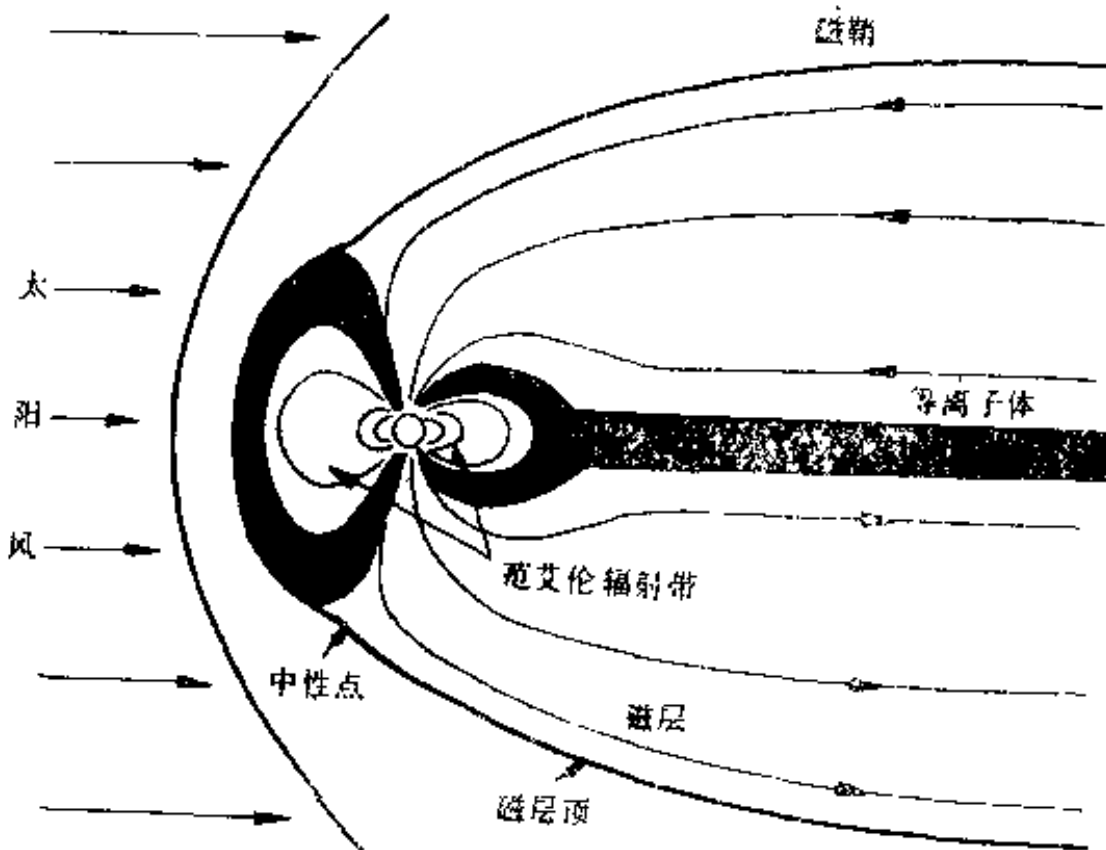


图1-5 地球的磁层和范·艾伦辐射带

距地球表面80—500公里的大气层，由于受太阳短波辐射

(紫外线和X射线)的作用,发生电离,形成电离层。电离层能够反射无线电波,我们能收听到远方的广播,正是电离层反射无线电波的结果。在电离层中较高的层次,因太阳短波辐射强烈,电离程度高,自由电子密度大,可以反射短波电波;在电离层中较低的层次,由于太阳短波辐射较弱,电离程度差些,自由电子密度较小,只能反射中、长波电波。当太阳活动耀斑爆发时,短波辐射增强,在突然增强的短波辐射照射下,电离层的自由电子密度加大,这时电离层不仅反射,而且吸收无线电波,特别是对短波无线电波吸收最显著,这就出现电讯中断的现象(见图1-6)。

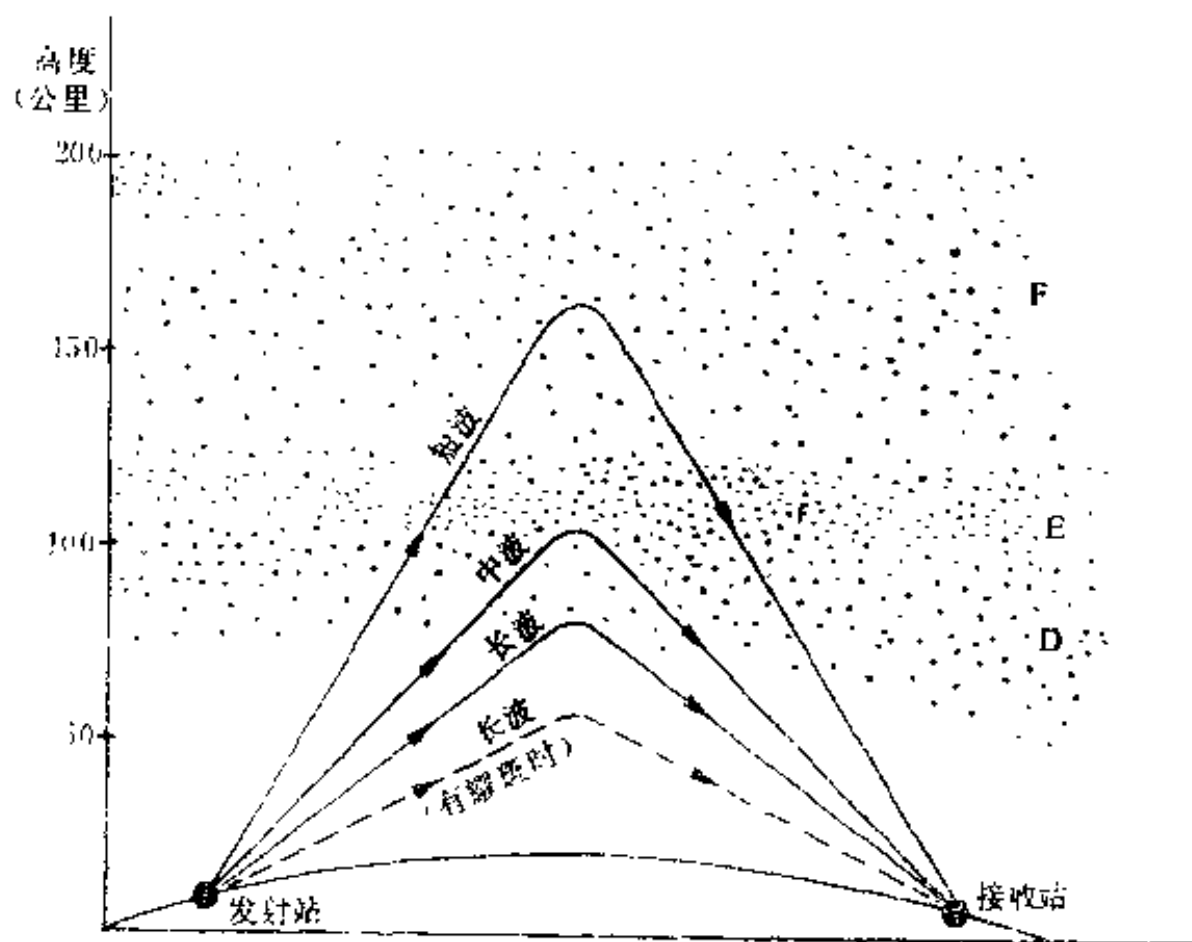


图1-6 无线电波在电离层中的反射

电离层中的电流所产生的磁场对地球磁场也有明显的影响。一种是由于地球的自转而造成的地球磁场的日变化;另一种是由于太阳活动引起的地球磁场不规则的变化,称为磁扰,非常强烈

的磁扰叫做磁暴。地球上发生磁暴时，磁针失灵，用其决定方向的船舶和飞机，经常发生事故。

在地球的高纬地区，经常有极光现象，它的发生直接与太阳的微粒辐射有关。极光是地球高层大气现象，高度一般为100—200公里，也有的极光高达1000公里。极光的色彩鲜艳，形状变幻无穷。从对极光的光谱分析中得知，以绿线、红线为主，另外还有蓝、紫线，它们分别为氧和氮的谱带。由此可知高层大气仍以氧和氮为主。关于极光的形成有两种解释：太阳的高能微粒流，以很大的速度射入地球大气层，与氧原子、氮分子碰撞，使它们激发，产生极光；最新的解释是，太阳的高能微粒流在地球大气周围形成电场，发生放电现象而产生极光。

在距地球表面数十公里的大气层，因太阳紫外线的作用，使其氧分子分解为氧原子。距地表愈高，紫外线愈强，分解也就愈强。在距地表25—30公里的大气层中，既有足够数量的被分解成的氧原子，又有一定数量没被分解的氧分子，氧原子与氧分子又结合成足够数量的臭氧，形成臭氧层。由于臭氧层对紫外线的吸收，致使地球表面上的生命体免遭紫外线的杀伤。所以臭氧层的存在，是地球表面有机体发生、发展的前提条件，它是有机体的保护层，故又称生命层。

太阳辐射是地球气候形成的重要因子之一，因太阳活动而引起太阳辐射的改变，也必然导致气候的相应变化。从对树木年轮的研究中可以发现，年轮疏密的变化也大致有11年的周期，与太阳活动周期相符。而树木年轮的生长状况与当时的气温、降水等气候条件紧密相关。所以树木年轮不仅记录着气候变化，同时也反映了太阳活动状况。由于地球气候主要是地球低层大气的现象，除太阳辐射外，受地理环境的影响较大。因此，太阳与气候的关系，不象电离层、极光、磁暴等那样直接、单纯。太阳活动对地球气候变化的影响是个很复杂的问题。

太阳是地球表面最巨大的能源宝库。太阳的短波辐射主要地消耗在地球大气层里，到达地面的太阳辐射主要是可见光部分，而可见光集中了太阳辐射约一半的能量。它不仅直接为地表提供了光能和热能，而且地球上的煤、石油、天然气等能源资源，也都是由太阳能转化来的。太阳能是取之不尽、稳定、廉价而又无污染的能源，愈来愈引起世界各国的重视。太阳能电池在宇航事业中发挥着重要作用。太阳炉、太阳能炊具，太阳热水器、太阳能蒸馏器等在工业、民用方面愈来愈得到广泛应用。尽管目前太阳能在人类使用能源中比例还较小，但它的潜力和前途是无穷的。

太阳-地球-人类这个系统的结构、内在联系、功能等方面，虽然我们的认识还很肤浅，但随着空间探测和空间开发事业的发展，将愈来愈深入地为人们所了解，更充分地利用太阳能，大规模地开发宇宙空间为人类造福，已经逐步地成为现实。

三、行星

目前已知在太阳系里有九大行星，它们都绕日公转，同时也在自转。它们的总质量只有太阳的 $1/750$ ，体积仅是太阳的 $1/600$ 。它们之间的差异很大，最大的是木星，最小的是冥王星。若以地球的质量、体积为 1，则木星分别为 318 和 1316，而冥王星仅为 0.0024 和 0.009。行星不发射可见光，因其反射太阳光而显得明亮。尽管行星比恒星小得多，但它距地球很近，在地球上它有一定的视圆面，所以在夜晚的天空背景上它不象恒星那样闪闪发光。

1. 行星的分类

按九大行星的物理性质可分为两大类：类地行星和类木行星（见图 1-7 和表 1-1）。

类地行星 距太阳较近的四行星（水、金、地、火），它们的特点是质量小、体积小，卫星数少，平均密度较大，表面温度

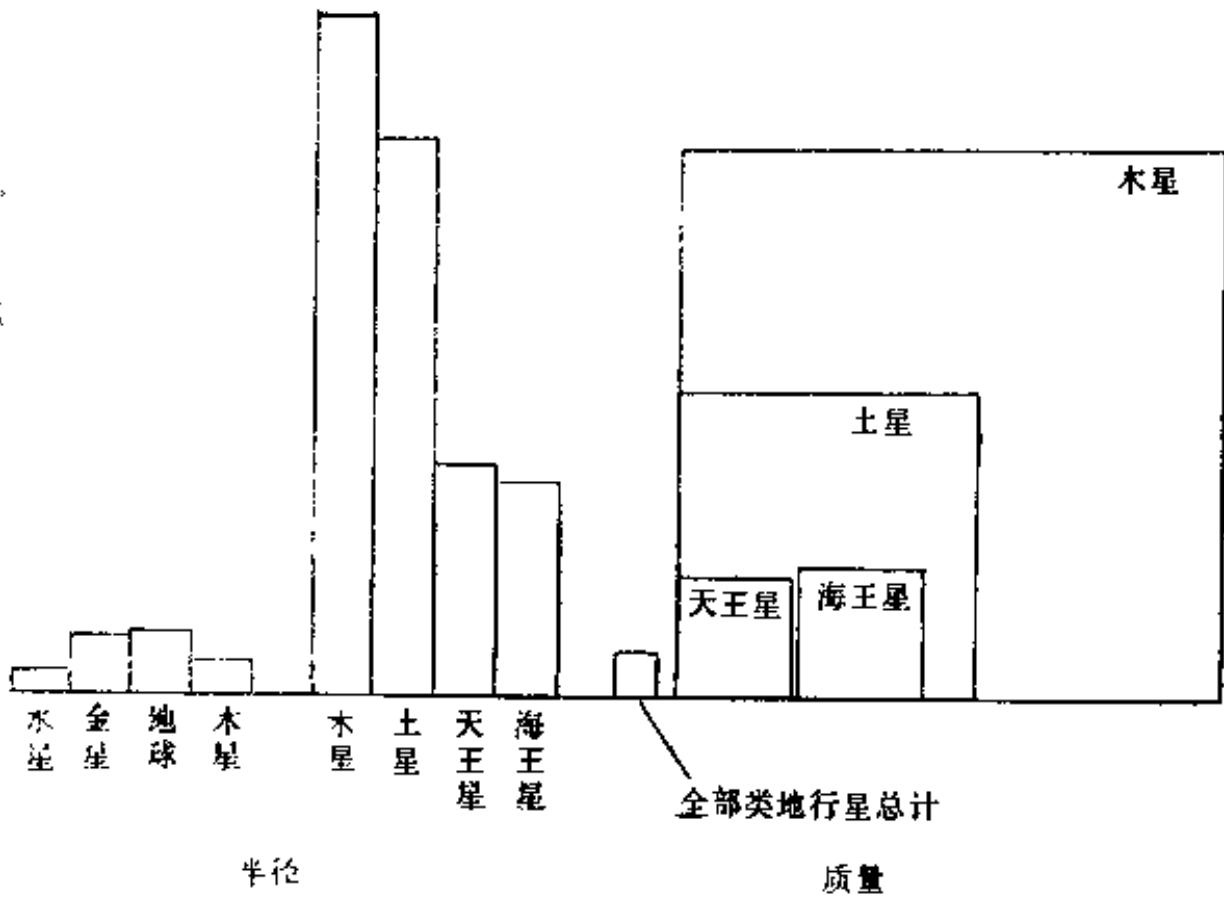


图1-7 行星大小、质量比较

表1-1 九大行星物理参数

	与太阳的平均距离 (天文单位)	表面最高温度 (°C)	平均半径 (地球=1)	体积 (地球=1)
水星	0.387	415.5	0.38	0.056
金星	0.723	493.3	0.95	0.856
地球	1.000	60	1.00	1.00
火星	1.524	23.9	0.53	0.15
木星	5.205	-87.8	11.20	1316
土星	9.576	-132.2	9.41	745
天王星	19.28	-165.5	4.06	65.2
海王星	30.13	-182.2	3.88	57.1
冥王星	39.87	-182.2	0.21	0.008

	质 量 (地球=1)	平 均 密 度 (克/厘米 ³)	表面重力 加 速 度 (地球=1)	逃 逸 速 度 (公里/秒)	卫 星 数
水星	0.055	5.46	0.37	4.3	0
金星	0.815	5.26	0.88	10.3	0
地球	1.000	5.52	1.00	11.2	1
火星	0.107	3.96	0.38	5.0	2
木星	317.94	1.33	2.64	59.5	16
土星	95.18	0.70	1.15	35.6	23
天王星	14.63	1.24	1.17	21.4	5
海王星	17.22	1.66	1.18	23.6	3
冥王星	0.002	1.5	0.05	1.2	1

较高，公转周期较短，而自转周期较长。

类木行星 距太阳较远的四大行星（木、土、天王、海王），它们的特点是质量大、体积大，卫星数较多，平均密度较小，表面温度低，公转周期长，而自转周期短。

距太阳最远的冥王星按其大小、质量近似类地行星，而其公转周期，表面温度又近于类木行星。因此，又有人把九大行星划分为三类：类地行星、巨行星（木、土）和远日行星（天王、海王、冥王）。

按行星轨道位置又可分为：地内行星（水、金、地）和地外行星（火、木、土、天王、海王、冥王）。

2. 九大行星概况

水星 水星又称辰星，它是距太阳最近的行星。在九大行星中水星的大小和质量仅大于冥王星，但它的密度较大，仅次于地

球。

1973年11月从地球上发射宇宙飞船“水手10号”成功，于1974年和1975年曾先后三次掠过水星，为我们了解水星提供了极有价值的资料，对水星的認識大大前进了一步。

水星的内部物质和结构很象地球，而它的外貌又很象月球。水星中心是个巨大的铁核，它占整个水星质量的80%，在铁核周围是一层很薄的硅酸盐层。水星表面分布着许多环形山和盆地，很象月球表面。但水星的环形山多分布在平原上，而月球的环形山多在高原上，水星的环形山也比较小。目前认为，环形山的形成是陨石碰撞的结果。

水星自转周期为58.6天，公转周期为88天，也就是说，水星自转三圈的同时，它也绕太阳运行了2圈（即176天）。这种现象称为自转-公转偶合现象。

水星表面的环境是九大行星中最严酷的一个。没有大气也没有水，赤道上正午的温度可高达700K，而在黑暗的半球，表面温度可冷却到100K以下。

水星具有平行于自转轴方向的偶极磁场，与地球的磁场很相似，但比地球磁场弱。

金星 金星又称太白星或称启明星、长庚星。金星距太阳仅比水星远些，但它是距地球最近的行星，所以在地球上，除太阳、月球之外它是最亮的一个天体。金星的大小、质量和密度都和地球差不多，它又是地球的近邻，所以过去认为金星的表面状况和大气成分和地球差不多。

近20多年来，向金星发射了十多个宇宙飞船和探测器，获得了宝贵的资料，证实金星与地球是有很大差异的。

金星具有浓厚、阴郁的大气。大气的成分以二氧化碳为主，占97%，并含有极少量的水汽。金星表面的大气压是地球表面大气压的90倍，金星表面的温度高达750K，是九大行星中最热的

行星。高温高压是金星最大的特征之一。金星的云层中含有硫酸，其降雨是硫酸雨，具有很强的腐蚀性，它对宇宙飞船是个很大的威胁。金星的高温，是由于大气中的二氧化碳和云层中硫酸，对金星表面散热具有强烈吸收的作用，使热量不致散失——“温室效应”所致。

金星的表面非常平坦，仅有少量的小环形山分布，金星光滑的表面很可能与炎热、稠密、腐蚀性大气和较强风速的作用有关，同时又很少有火山活动。

金星的自转是很特殊的，它进行缓慢的逆向（自东向西）的自转，所以在金星上观日，是西升东落。它的自转周期是243天。

金星没有磁场，这很可能与它非常缓慢的自转有关。

火星 火星与太阳的距离居第四位，与地球的距离仅次于金星。火星的体积约为地球的15%，质量约为地球的11%。从地球上看来它是一颗明亮的红色星。

过去人们曾推想火星上可能存在着生命活动。近十多年来宇宙飞船，特别是1976年“海盗1号”和“海盗2号”探测器在火星登陆，获得大量资料，才确定火星是个无生命的寂静世界。

火星具有稀薄的大气，其表面气压仅为7.5毫巴，不足地球表面气压的1%。大气成分以二氧化碳为主，占95%，其余为氩、一氧化碳和氧，水汽含量极少，且随地区和季节发生变化。在火星大气中也飘浮着云，它是由二氧化碳和水冷凝而成的水——冰云。火星上的风速很大，经常形成强大的尘暴，可波及半球甚至全球。

火星表面温度最高为300K，最低为150K。由于火星大气稀薄而干燥，所以温度的日变化很大，常常超过100K。

火星自转周期为24小时37分，与地球相差不多，而公转周期约为地球的2倍，所以火星上的季节变化比地球长，且变化幅度也大。

由于火星具有如此稀薄以二氧化碳为主的大气，其表面温度很低且变化很大，又无水，所以生命是不可能在这恶劣条件下存在的。

火星表面形态复杂，北半球以大的火山熔岩平原为主；南半球密布着环形山。在两极地区覆盖着“极冠”，它由固体二氧化碳和冰组成，随着季节的变化，它的范围延伸或退缩。火星上的盾形火山非常巨大，可高出周围20余公里，远远超出地球上的最高峰。在火星赤道地区有延伸5000多公里的巨大峡谷。最引人们兴趣的是在火星表面广布着水道网，水道酷似干枯的河床，水道网很象地球大陆上的树枝状水系网。然而，目前液态水在火星表面是不存在的，流水的侵蚀作用已不可能，而水道网的存在很可能是火星气候变化的证据，它过去曾有过湿润温暖的时期，而现在变得干燥寒冷了。

木星 木星是颗巨大的行星，体积和质量都居九大行星之冠。体积为其它行星体积总和的1.5倍，质量是其2.5倍。

1972年—1973年“先驱者10号”和“先驱者11号”宇宙飞船完成了飞行木星的考察，对木星的认识大大飞跃了一步。

木星主要由氢和氦组成，与太阳组成物质相同，而且氢与氦的比例也基本一致，但木星的内部结构与太阳不同，表现的物理性质与运动规律仍具有行星的特征，所以它仍属于行星，而不是恒星。

木星主要由液态氢构成，它没有固体外壳，仅有一个很小的固体核。在液体表面之上是由氢和氦构成的深厚的大气层。我们观测木星表面可见到有平行于赤道的明暗交替的光带，这是木星表面最主要的特征。亮带称为条斑，暗带称为带纹。前者为气体上升区，后者为气体下沉区。木星表面另一个突出特征是“大红斑”的存在，因其显微红色而得名。大红斑出现在南热带纬度范围内，它是木星上的强大风暴，就好象地球上出现在热带海洋上的

台风，但其规模要强大得多，寿命也长，可达数年。

木星另一个显著特点是它的白昼一侧与黑夜一侧温度相同，不象地球和其他行星那样，昼半球与夜半球之间存在着明显的温度差异。木星的这种温度状况表明：木星表面热量的来源以内部热源为主，而太阳辐射占次要地位。同时也说明木星大气的热容量很大。实测木星表面温度为 -150°C — -140°C 。

木星磁场和地球磁场一样是偶极磁场，但其磁场方向与地球磁场方向相反，磁场强度也比地磁场强。

土星 土星是仅次于木星的第二颗大行星。土星也是行星中平均密度最小的行星。由于土星自转很快，产生的离心力也大，所以土星也是行星中最扁的行星，扁率*为0.108。

土星和木星非常相似，在组成成分上与太阳相近，以氢和氦为主。土星在结构上也与木星相似，中心为一半径约一万公里的岩石核心，其外被冰和氢所包围，再外层是氢与氦为主的大气。观测土星圆面，隐约可见平行于赤道的明带与暗带相间，偶尔可见寿命短促（10分钟左右）的亮斑。实测土星的温度值为92K，这个值要比太阳加热推算出的值（76K）要高，这也说明土星和木星一样，土星内部热源加热占有重要地位。

土星具有一个比地球磁场强得多的磁场。

土星最突出的特点是它有一个复杂的光环系统。光环由大大小小的冰粒组成。整个光环系统由5部分即A、B、C、D、E环组成。各环之间被窄而暗的环缝分开，其中B环最亮，其他各环都比较暗淡。土星光环是套在赤道外围的圆圈，由于土星相对于太阳、地球的位置不同，所以从地球看去，土星光环外形发生着变化。

在各大行星中土星的卫星数目最多，其中土卫六是最大最亮

* 扁率 = $\frac{\text{赤道半径} - \text{极半径}}{\text{赤道半径}}$

的卫星，它的半径达2900公里，比水星还要大，它也是太阳系中唯一具有大气层的卫星。

天王星、海王星、冥王星 目前对这三颗远日行星的了解远不及类地行星和巨行星。这是因为它们距地球较远，不易观测，发现年代较晚。1781年英国人赫歇尔发现天王星，可是根据万有引力定律计算出的天王星轨道总是同观测的实际轨道不符，于是推测，在天王星之外存在一颗新的行星，它使得天王星的轨道发生偏离。1845年英国人亚当斯首先计算出了新行星的位置，1846年法国人莱威利尔得出同样的解，这才导致第八颗行星——海王星的发现。这一发现是天体力学的一个重大成就。发现冥王星的过程与发现海王星的过程类似，即海王星轨道理论计算值与实测值存在误差，这是由于受它外面的行星——冥王星影响的结果。依据这种推测，于1930年汤博终于发现了冥王星。

天王星有浓厚的大气层，主要由甲烷和氢组成。据推测，天王星有一个岩石核心，其外围是冰层，再外层是氢层，氢层之上便是大气。天王星最特殊之处，是它自转方向按顺时针方向，即自转方向与公转方向相反。同时，自转轴方向几乎与公转轨道平面一致（见图1-8），因此，天王星的自转与公转的运动，就好象它在公转轨道上滚动，但滚动（自转）方向与前进（公转）方向相反，绕自转轴滚动一圈，便是自转一周，其周期为12.3小时；在公转轨道上运行一圈，便是公转一周，其公转周期为84年。由此造成的天王星昼夜交替一次便是84年。天王星也有一个环带围绕，但不及土星明显。

海王星主要由氢和氦组成，它的稠密大气与天王星类似，主要由甲烷和氮组成。

冥王星公转轨道偏心率*最大，达 0.256。公转轨道面与黄

* 偏心率 $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$

a 为椭圆长半径

b 为椭圆短半径

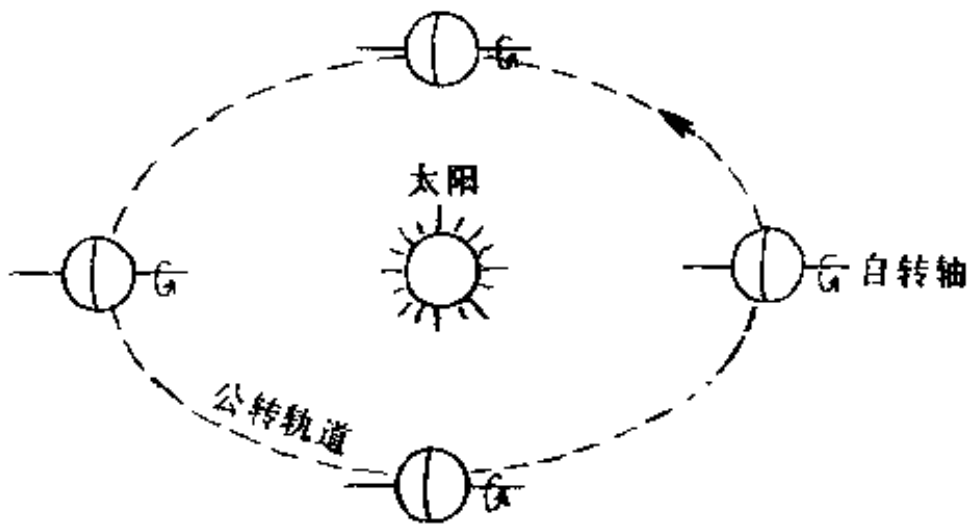


图1-8 天王星的公转与自转

道面（地球公转轨道平面）的倾角也最大，为 17.1° 。由于冥王星距地球遥远，对它的组成、结构等了解得还很少。

地球 地球是太阳系中一颗普通的行星，它的运动、大小和质量等方面都和其它行星有相近之处。地球又是一颗特殊的行星，在地球大气圈、水圈和岩石圈接触的地带发育着生机勃勃的生物世界，形成生物圈。生物活动对大气圈、水圈和岩石圈又发生着改造作用。各个圈层之间的相互作用，形成了结构复杂，物质多样的自然地理环境，它使得地球区别于其它行星，而形成一颗特殊的天体。

所以，地球最大的特征就是生命的出现和生命活动所构成的生命世界。而生命世界的形成是与地球大气、水和热量等方面条件紧密相关。

地球的质量约为60万亿亿吨，比类地行星的质量都大，但远小于巨行星和远日行星（冥王星除外），与质量相关的引力状况也是如此。可以说，地球的质量和引力比较适当，在其引力作用下，形成以氮和氧为主的地球大气层。如果，行星的质量和引力太小，分子运动很容易逃逸出去，不能形成大气层（如水星、冥王星）；如果行星的质量和引力很大，就会形成浓厚的大气层，且

组成以轻元素——氢和氦为主(如木星、土星)。地球大气以氮、氧为主，且有少量的二氧化碳和水汽，这是维持生命活动的必要条件，而其他星球并不具备。地球大气成分也是生命活动，特别是绿色植物长期作用的结果。地球原始大气是由氢和氦组成的太阳星云残留下来的，在地球演化过程中氢和氦已经逸散到宇宙空间。地内物质释放出的气体，甲烷、氨、氮、水汽和二氧化碳构成地球第二代大气。地球上绿色植物的出现，进行光合作用，吸收二氧化碳，制造有机物并放出氧，才逐渐形成以氮和氧为主的现代大气。氮和氧是维持生命活动的基本元素。在太阳紫外线作用下，臭氧层的形成，对地球表面的生物又起了保护作用。

地球在太阳系中的位置，决定了它获得太阳辐射的多少。若行星距太阳太近，受热多温度高，不适于生命活动(如水星、金星)。若行星距太阳太远，受热少温度低，也不利于生命活动(如地球轨道以外的诸行星)。而地球距太阳适中，获得太阳辐射适量，使其表面温度平均值为 15°C 。地球的自转和公转周期都不太长，造成温度的日变化和季节变化，其变化幅度不太大，时间也不长。这样的温度状况适宜于生命的新陈代谢过程，有利于生长发育。地球大气层对地球表面的保温和调温作用也是很重要的。大气层对太阳辐射的削弱作用使得地球表面获得能量不致过大，同时它又使地球表面热量不致丧失过多，这就维持了地球表面比较稳定的热状况。大气的运动，在垂直方向或水平方向上输送热量，调节着温度变化，减小地区间的差异。

地球表面适宜的温度和大气层的存在，使地球表面的水多以液体状态存在，形成辽阔的海洋和江河湖泊地下水，构成水圈。而海洋又是生命的摇篮。由于地表温度的变化和大气的运动，水又经常进行着相态的变化，水的气态、液态、固态之间的变化在全球范围内进行着水分循环，同时进行着能量交换，这是生命活动所必需的，永不枯竭的水资源。

地球的质量在行星中是较小的，但它的密度在行星中是最大的，也就是说组成地球的物质以重元素为主。它们形成坚硬的岩石，构成坚固的地壳，其表面分布广阔的海洋和大陆，这就为生物繁衍提供了生息基地。

地球表面，在大气圈、水圈和岩石圈接触的地带，具备特殊的光、热、水及营养元素的环境条件，发育着高级的物质形式——生命有机体，构成生物圈。而生物活动对地球的其他圈层又进行着改造和建造。这就是地球在太阳系中区别于其他天体最特殊之处。

九大行星各具特色，其中地球尤为特殊。虽然目前对远日行星了解甚少，但随着空间探测技术的飞速发展，对它们的认识将会日趋深入。

九大行星也有许多相似之处，概括起来，有如下几方面：

除水星、冥王星目前尚未发现大气层外，其它行星均有大气

表 1-2 九大行星轨道要素

行 星	轨 道 半 长 径 a	偏 心 率 e	轨道相对于 黄道的倾角
水 星	0.387	0.206	7.°0
金 星	0.723	0.007	3.°4
地 球	1.000	0.017	0°
火 星	1.524	0.093	1.°9
木 星	5.205	0.048	1.°3
土 星	9.576	0.055	2.°5
天 王 星	19.28	0.051	0.°8
海 王 星	30.13	0.006	1.°8
冥 王 星	39.87	0.256	17.°1

行 星	自 转 周 期 (恒 星 时)	公 转 周 期 (恒 星 年)	轨 道 运 动 平 均 速 度 (公 里 / 秒)
水 星	58.646日	0.241 (88日)	47.89
金 星	243日	0.615 (225日)	35.03
地 球	23小时56分	1.000 (365.26日)	29.79
火 星	24小时37分	1.881 (686.98日)	24.13
木 星	9小时50分	11.862	13.06
土 星	10小时14分	29.458	9.64
天 王 星	12小时18分	84.015	6.81
海 王 星	18小时	164.788	5.43
冥 王 星	6日9小时17分	248.43	4.74

层。大气成分金星、火星以二氧化碳为主；木星、土星、天王星、海王星则以甲烷和氢为主。

在结构上都具有同心圈层结构，由外向内分别为：壳、幔、核。核密度最大向外减小。类地行星的固体表面多有环形山、火山分布。

行星都按一定周期绕自转轴自转，同时又按一定轨道绕日公转。

除水星、金星外其它行星都有卫星，卫星绕行星运动，构成太阳系中次一级的天体系统——行星-卫星系统。

3. 行星分布和运动规律

行星与太阳之距离遵循着一个简单的规律，这个规律是德国人提丢斯和波德发现的，因而命名为提丢斯-波德定律。其内容为：0.4加上0.0，0.3，0.6，1.2，2.4，……等数，便是各行星与太阳之距离，单位为天文单位。依此计算出，并也实测到在火星与木星之间为小行星带。

表1-3 九大行星与太阳的距离（天文单位）

	水星	金星	地球	火星	小行星
计算值	0.4	0.7	1.0	1.6	2.8
实测值	0.39	0.72	1.00	1.52	2.90

	木星	土星	天王星	海王星	冥王星
计算值	5.2	10.0	19.6	38.8	77.2
实测值	5.20	9.54	19.18	30.06	39.44

九大行星公转轨道都接近在一个平面上，它们与地球公转轨道平面——黄道面的倾角一般都小于 3° ，仅水星和冥王星的倾角较大分别为 7° 和 17° 。行星公转轨道都是偏心率很小的椭圆，非常接近正圆，仅水星、冥王星轨道偏心率稍大。行星公转的方向相同，都按逆时针方向公转，同时也都朝同一方向自转（金星和天王星除外）。概括起来，这就是行星轨道运动的共面性、近圆性和同向性（图1-9）。

行星的运动是遵守着一定的规律。17世纪初，德国天文学家开普勒在哥白尼日心学说的基础上，对大量的行星资料进行分析和计算，总结出行星运动三大定律，即著名的开普勒三定律。

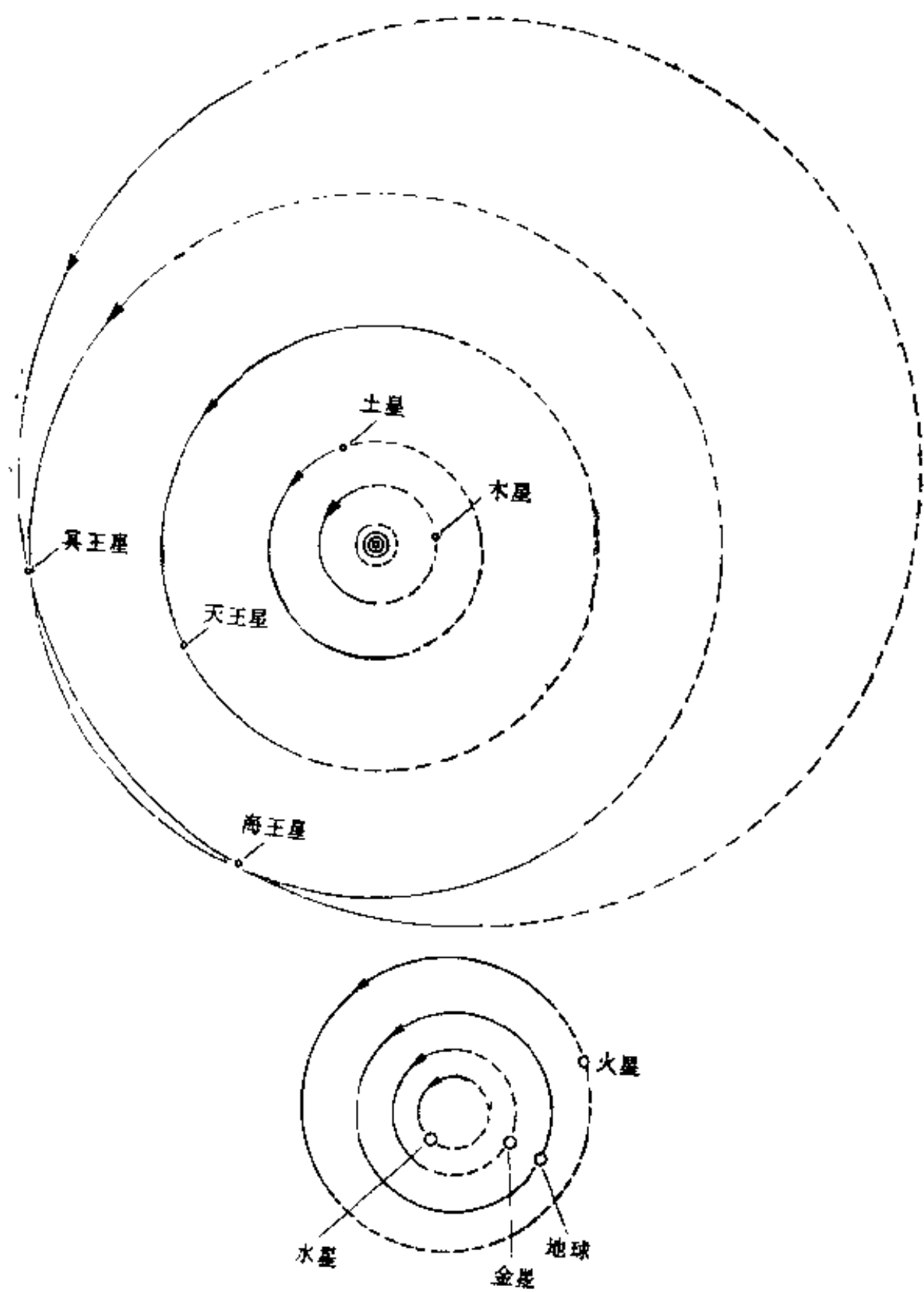


图1-9 九大行星公转轨道(轨道是按比例尺绘制的,轨道的虚线部分表示该行星轨道居于地球轨道面之下的那部分)

第一定律：行星绕日公转轨道都是椭圆，太阳位于椭圆的一个焦点上。

由此可知，行星公转过程中，与太阳的距离是随时在变化的，在轨道上有一近日点和远日点。

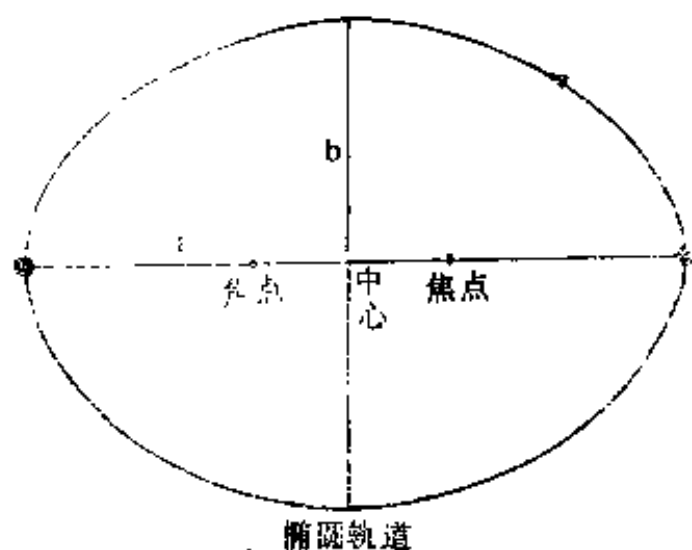


图1-10 行星的椭圆轨道示意图

图1-10中， a 为椭圆半长径， b 为椭圆半短径，椭圆的偏心率 (e) 可用下式求出

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

$e = 0$ 时，轨道为正圆； $0 < e < 1$ 时为椭圆， e 值越小轨道越接近正圆。

第二定律：行星的向径(太阳中心与行星中心的连线)，在相同的时间内扫过的面积相等(图1-11)。

由此可知，行星的轨道速度是随与太阳的距离而变化的，行星离太阳近时，轨道速度大；离太阳远时，轨道速度小。特别是行星在近日点附近运行最快；在远日点附近时，运行最慢。

第三定律：行星绕太阳公转周期的平方同它们与太阳平均距离的立方成正比。

若以 a_1 、 a_2 、 a_3 ……分别表示水、金、地……与日平均距离

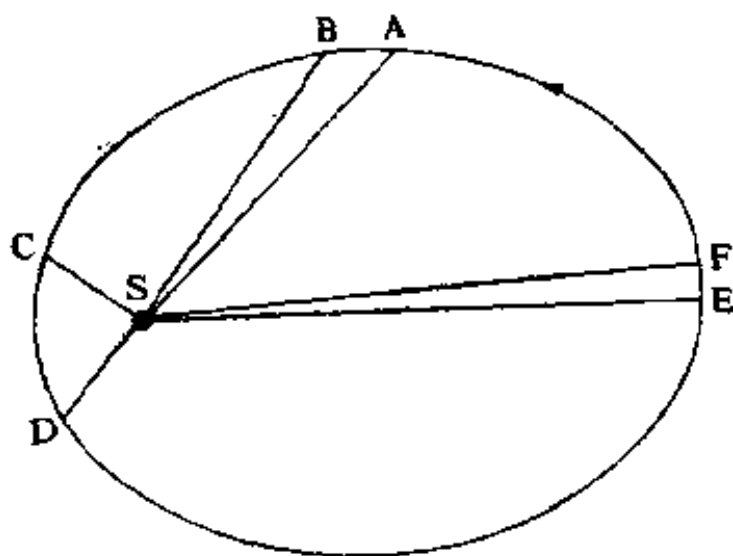


图1-11 开普勒第二定律示意图

T_1 、 T_2 、 T_3 ……分别表示水、金、地……绕日公转周期
则表示式为：
$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \frac{T_3^2}{a_3^3} = \dots = K$$

由此可知，离太阳越远的行星，其公转周期越长。公式中，地球的 a 和 T 是已知的，若某一行星与太阳的平均距离已知，则可求出它的公转周期。

开普勒三定律定量地解决了行星运动的基本规律。但它没有从物理原理上给予解释。英国物理学家牛顿在总结开普勒三定律的基础上，得出了物体之间的引力与它们的质量、距离之间的关系，这就是著名的万有引力定律。他用物体之间的引力解释了天体运动的规律。

万有引力定律：宇宙中一切物体之间都是相互吸引的，引力的大小同这两个物体质量的乘积成正比，和它们之间的距离平方成反比。其表示式为

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

F 为引力； m_1 ， m_2 分别为两物体的质量；

G 为万有引力常数值为 6.67×10^{-8} 达因·厘米²/克²；

r 为两物体间的距离。

由此可知，两个物体的质量越大，距离越近，则它们之间的引力就越大；反之就越小。

引力是如何支配着行星的运动呢？

根据牛顿惯性定律，运动着的天体如果不受外力的作用，就会作匀速直线运动。但实际上行星运动方向时刻在改变着，作椭圆运动，它必然受一种外力的作用把它拉向轨道中心。这个外力就是引力。行星就是在惯性力和引力的共同作用下，而沿着其合力的方向作椭圆轨道运动的。它们既不跑出太阳系，也不直接飞向太阳，而是绕日作有规律的运动。卫星绕行星运动，太阳系在银河系中的运动也都是如此。太阳系中卫星绕行星运动，行星携同它的卫星绕太阳运动，太阳又带着整个太阳系在银河系中绕银河系中心运动，它们各自沿着一定的轨道运动着，构成了一个结构复杂而又有序的运动系统。

四、太阳系中的其它天体

1. 小行星 小行星是指主要分布在火星和木星轨道之间，围绕着太阳旋转的数以万计的很小的行星。绝大多数小行星距太阳2.2—3.2天文单位。目前进行编号的小行星为2700颗。

大约有30颗小行星的直径大于200公里，而大多数小行星都很小，直径仅有几十公里，甚至几公里。最大的三颗小行星为谷神星、灶神星和智神星。多数小行星是碳质的，少数是石质的或石铁质的。

小行星的外形很不规则。它们也都在进行着自转。小行星不规则外形和自转很可能是由于碰撞所造成的。小行星的表面陨坑累累，没有大气。

2. 彗星 彗星又称扫帚星。多数彗星同行星一样也是绕太阳作闭合轨道运动的天体，但它的轨道偏心率很大，对黄道面的倾角也很大。

彗星的主要组成部分是彗核，彗核的组成物质是冰。当它临近太阳时，彗核受热冰冻物质气化，在核周围形成彗发，在太阳光压和太阳风的作用下，在背向太阳的方向彗发延伸出长长的彗尾。彗核的直径为1—100公里，彗发的直径可达几万公里，彗尾可长达1亿公里。彗发和彗尾是由极稀薄的气体组成，其密度极小，目前最好的实验技术还不能测得。彗星的质量主要集中在彗核上。

彗星的轨道复杂，大体分三类：椭圆轨道、抛物线轨道和双曲线轨道。大部分彗星是很扁的椭圆轨道。它们绕日公转周期差别很大，如恩克彗星周期仅为3.3年(肉眼看不见)。著名的哈雷彗星周期为76年，最近这一周期通过近日点的时间是1986年2月9日。

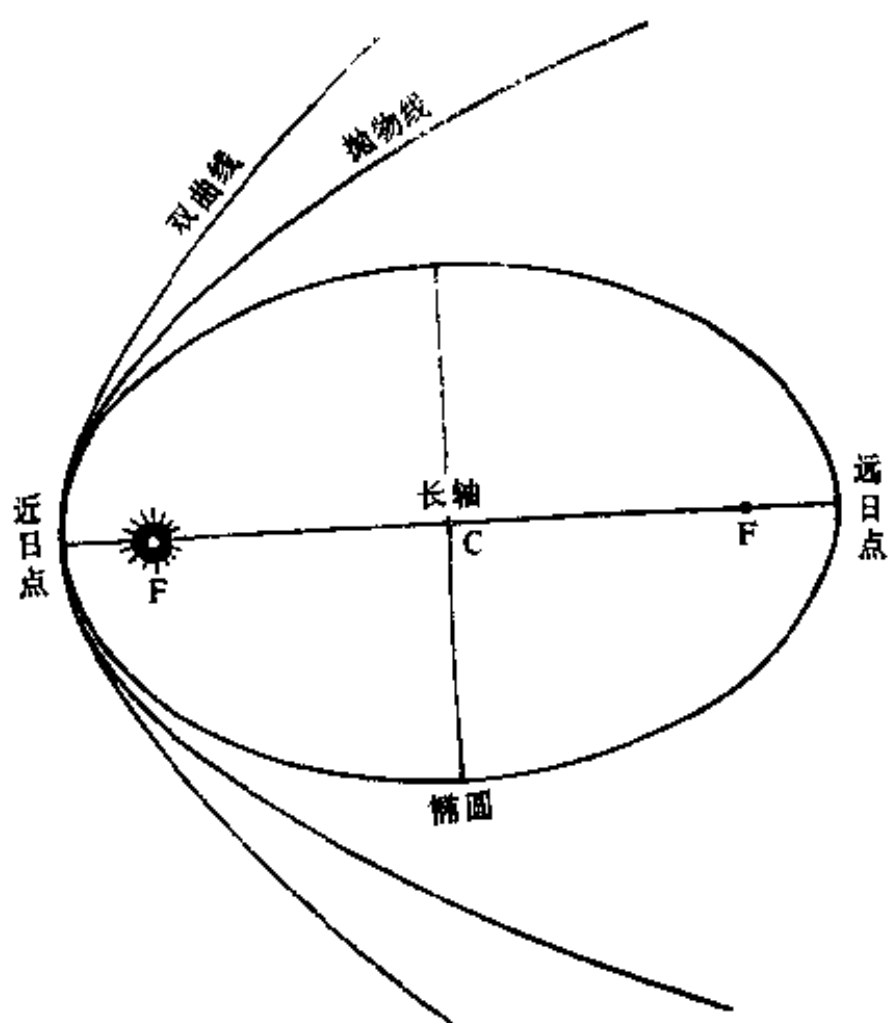


图1-12 彗星的轨道

日，这是观测哈雷彗星最好的时机，苏联、美国、欧洲、日本先后发射六个探测器，飞向哈雷彗星，进行临近观测。从所获资料表明：哈雷彗星彗核的体积为 $15 \times 10 \times 8$ 公里³，呈不规则的椭圆柱体。外壳为一冰层，由碳、氧、氢、氮等元素组成。彗核进行着自转，周期为53小时，朝阳面温度达 42°C ，背阴面温度为 -70°C ，核内温度更低，达 -70°C — -123°C 。哈雷彗星彗尾物质80%为水，其余大部分为二氧化碳。其密度为地球上大气密度的几千亿分之一，彗尾中微粒运动速度为3000公里/秒。

有的彗星周期长达数百年，甚至数千年，对它们了解更加困难了。这都属于周期性彗星。而沿抛物线或双曲线轨道飞行的彗星，它们绕过太阳就一去不复返了，属于非周期性彗星(图1-12和图1-13)。

目前人们观测到的彗星已超过1500多颗，其中计算出轨道的仅有600多颗。

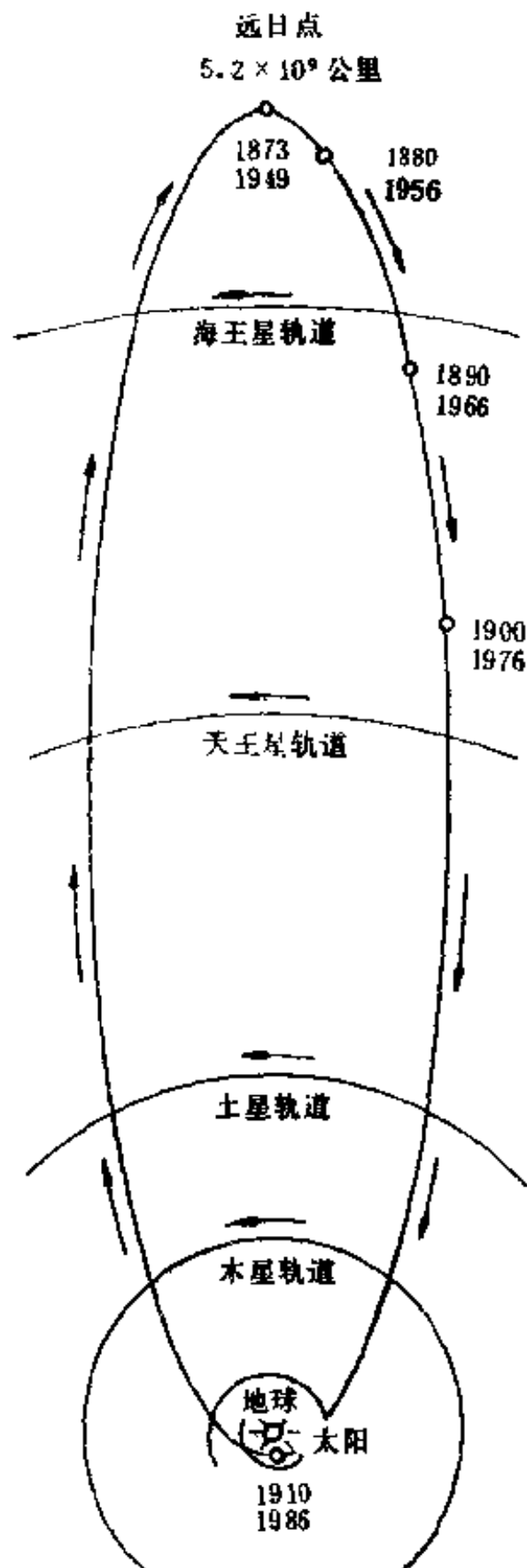


图1-13 哈雷彗星轨道

3. 流星 在太阳系行星际空间游动着大大小小的固体块和尘粒，叫做流星体。当它们临近地球时，受地球引力吸引，进入地球大气层，大约在距地面80—120公里的高空，因摩擦生热而燃烧发光，这就是我们观测到的流星。流星体主要来源是小行星和彗星的碎块。小的仅几克重，大的可达几十一几百吨。进入地球大气层的流星体多数被燃烧化为灰烬，少数残体落到地面，叫做陨星或叫陨石。按陨石的组成成分可分三类：铁陨石（主要由铁镍组成）；石陨石（主要由硅酸盐组成）；石铁陨石（由硅酸盐和铁镍组成）。陨石给我们带来了太阳系中天体物质的直接信息，它为我们提供了最好的标本。研究陨星，对于研究太阳系的形成和演化、生命的起源、空间技术等，具有重要的科学价值。

目前在地球上发现的最大铁陨石在非洲，重达60吨，我国新疆青河县发现的铁陨石重达30吨。1976年降落在我国吉林的石陨石重达1770公斤，是目前世界上最大的石陨石。

第三节 银河系

银河系是比太阳系更高层次的庞大的天体系统。它是由恒星及其它各种类型的天体组成。银河系中恒星数在1500亿颗以上。恒星是银河系最主要的成员，太阳就是其中普通一员。除恒星之外，还有各种类型的星云以及星际气体与尘埃。

一、恒 星

象太阳那样，恒星都是由炽热的气体构成的能自行发光的天体。恒星以其巨大的质量和引力，维持其能源来源——热核反应和结构特征，并制约着天体运动状况，它是宇宙间最主要的角色。

1. 恒星的一般性质

太阳是普通的一颗恒星，太阳的性质为一般恒星所具备。从物质组成上看，一般恒星的成分为70%的氢，28%的氦，其余为碳、氮、氧、氖以及铁等元素（按重量百分比）。从结构上来看，它们中心都为高温高压下的热核反应区，是恒星的能源基地，其能量通过外围的辐射和对流向外传播，从恒星表面光芒四射，向宇宙空间输送着巨大的能量。

但恒星之间的差异也是很大的。恒星虽然都是炽热的气体球，而最热的恒星表面温度可达几万—几十万度，最冷的仅二三千度。从大小和质量上来比较，若以太阳为标准，小恒星的直径不足太阳的千分之一，大的恒星可在千倍以上；质量变化则从太阳的二十分之一到百倍以上。恒星的密度差别更大，从水的密度几千万分之一到千万倍以上。可见恒星是千差万别的。

2. 恒星的距离

恒星的大小相差悬殊，可是我们在地球上看见恒星，都是闪闪发光的光点，很难鉴别它们的大小，也查觉不出它们距我们的远近，好象它们都镶嵌在天球表面上，这是因为恒星距我们非常遥远的缘故，以致分辨不出它们的大小和距离。

在太阳系内测量距离通常用天文单位，但用它来测量恒星的距离就显得太小了。衡量恒星的距离通常以光年为单位。我们看到最明亮的天狼星，距地球约8.7光年，也就是说，天狼星发出的光，在宇宙空间需走8.7年才到达地球，我们现在所看到的天狼星的光，是它在8.7年前发射出来的。距地球最近的恒星是半人马座的比邻星，距离为4.3光年。我们所熟悉的牛郎星距离为16光年，织女星距离为26光年，北极星更远，为682光年。

测定恒星距离的基本方法是三角视差法。选取地球轨道半径（日地平均距离）为基线（ a ），地球轨道半径在恒星处的张角（ π ），叫做恒星的周年视差，测定出恒星的周年视差，便可推算出恒星的距离（图1-14）。

从图1-14中可知, $r = \frac{a}{\sin \pi}$

恒星的周年视差是很小的, 距太阳最近的比邻星周年视差最大, 仅为 $0.''76$, 其它遥远的恒星其值更小, 天狼星为 $0.''37$, 织女星为 $0.''12$, 所以测定周年视差精确度要求是非常高的。在天文学上也常用“秒差距”做为表示恒星距离的单位。秒差距即周年视差为 $1''$ 时的恒星距离。

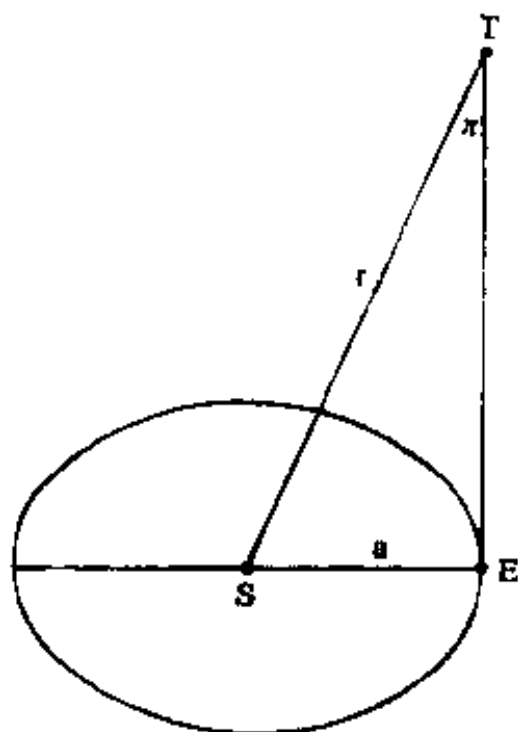


图1-14 恒星的周年视差

各单位之间的关系如下:

1光年 = 9.46×10^{12} 公里 = 63240天文单位

1秒差距 = 3.26光年 = 206265天文单位

3. 恒星的亮度和光度

我们所看到的恒星明亮程度称为视亮度, 简称亮度。为区分恒星亮度的差异, 常用视星等表示。早在公元前 2 世纪, 人们将肉眼能看见的恒星分为 6 等, 最亮的叫 1 等星, 亮度减小, 等级降低, 到肉眼勉强能看见的星, 叫 6 等星。现今规定, 星的亮度每差 2.512 倍时, 星等相差 1 等。即 1 等星的亮度为 2 等星的 2.512 倍, 2 等星的亮度为 3 等星的 2.512 倍, 依此类推, 1 等星的亮度恰等于 6 等星的 100 倍。目前借助仪器可以看到比 6 等星更暗的星, 现在可以划分到 23 等星。比 1 等星还亮的星为 0 等星、-1 等星……例如, 天狼星的星等为 -1.4; 满月时是 -12.7; 太阳是 -26.7 等。

视星等不考虑距离因素的影响, 假如有两颗恒星, 发光能力

是相同的，但距离不同，**近的近亮些**，视星等高；远的就暗些，视星等低。这是因为我们看到的星的亮度是同该恒星的距离平方成反比的缘故。恒星真正的发光能力叫光度。为了反映或比较恒星发光能力的强弱，就必须把所有恒星都在相同的距离上进行亮度比较，才能真实地反映恒星的光度情况。国际上规定，假定把恒星移到离地球10秒差距（32.6光年）处所具有的视星等，称为绝对星等。

所以，视星等直接由天体的亮度所确定，与光度无关。而绝对星等则反映了天体的光度。天狼星的绝对星等为1.45，太阳的绝对星等为4.9。天体的光度除用绝对星等表示外，也常以太阳光度为单位来表示，如天狼星的光度为34个太阳单位。

4. 恒星的光谱

恒星的光谱和太阳一样，都是由连续光谱和吸收线组成的吸收光谱。但不同的恒星具有不同的光谱，有的光谱红光强，有的蓝光强；有的光谱吸收线多，有的吸收线少。这是因为恒星的化学成分、温度、压力、密度、磁场等方面的差异所造成的。因此，对恒星光谱的分析，是了解有关恒星性质的重要途径之一。根据对大量的恒星光谱的研究，可以把恒星光谱划分为O、B、A、F、G、K、M 7种类型。按其温度的高低，又可归纳为三类。

O、B、A型星属于高温的，此类恒星质量最大，光度强，呈蓝白色，光谱以电离氢、氦谱线较强；F、G型星属于中温的，此类恒星质量和光度居中等，呈黄色，光谱除氢线外，有较强的钙谱线，太阳就是一颗G型的黄色星；K、M型星属于低温的，此类恒星质量小，光度弱，呈红色，光谱中以一些容易激发的金属原子谱线和分子带为主。

20世纪初丹麦天文学家赫兹普伦和罗素首先绘出了恒星的光谱型和绝对星等的坐标关系图，即光谱-光度图，这就是天文上著名的赫罗图。从图1-15上可以看出，大多数恒星分布在图中

表1-4 恆星光谱类型

光谱型	颜色	表面温度(K)	典型星
O	蓝	25000—40000	参宿一 参宿三
B	蓝白	12000—25000	参宿二 参宿七
A	白	7700—11500	天狼 织女
F	黄白	6100—7600	老人 南河三
G	黄	5000—6000	太阳 南门二
K	橙	3700—4900	大角 北河三
M	红	2600—3600	参宿四 心宿二

左上方至右下方的一条狭长带内，由光度大温度高的O型B型星延续到光度小温度低的K型和M型星，形成一个明显的序列，叫做主星序。图右上方即在主星序以上还集中一些绝对星等在零等上下的G、K、M型星，叫做巨星。在巨星之上为光度更大，绝对星等在-2到-7之间的星，叫超巨星。图的下部左方为一些光度小、体积小，但密度极大的白色星，叫做白矮星。从图中可以直观地反映出恒星光谱—温度—光度之间的关系，同时也展示出了恒星演化的各个阶段。

5. 双星、聚星和星团

恒星在宇宙空间的分布形式是多种多样的。有的恒星孤立分散，相距甚远；有的恒星结双成对，称其谓双星；在二颗以上，几颗恒星聚集在一处，称为聚星；有的在十颗以上聚集成团，称为星团。

在银河系里双星占全部恒星的三分之一。一般双星之间的距离很近，但有的双星我们看去距离很近，即两颗星角距很小，但

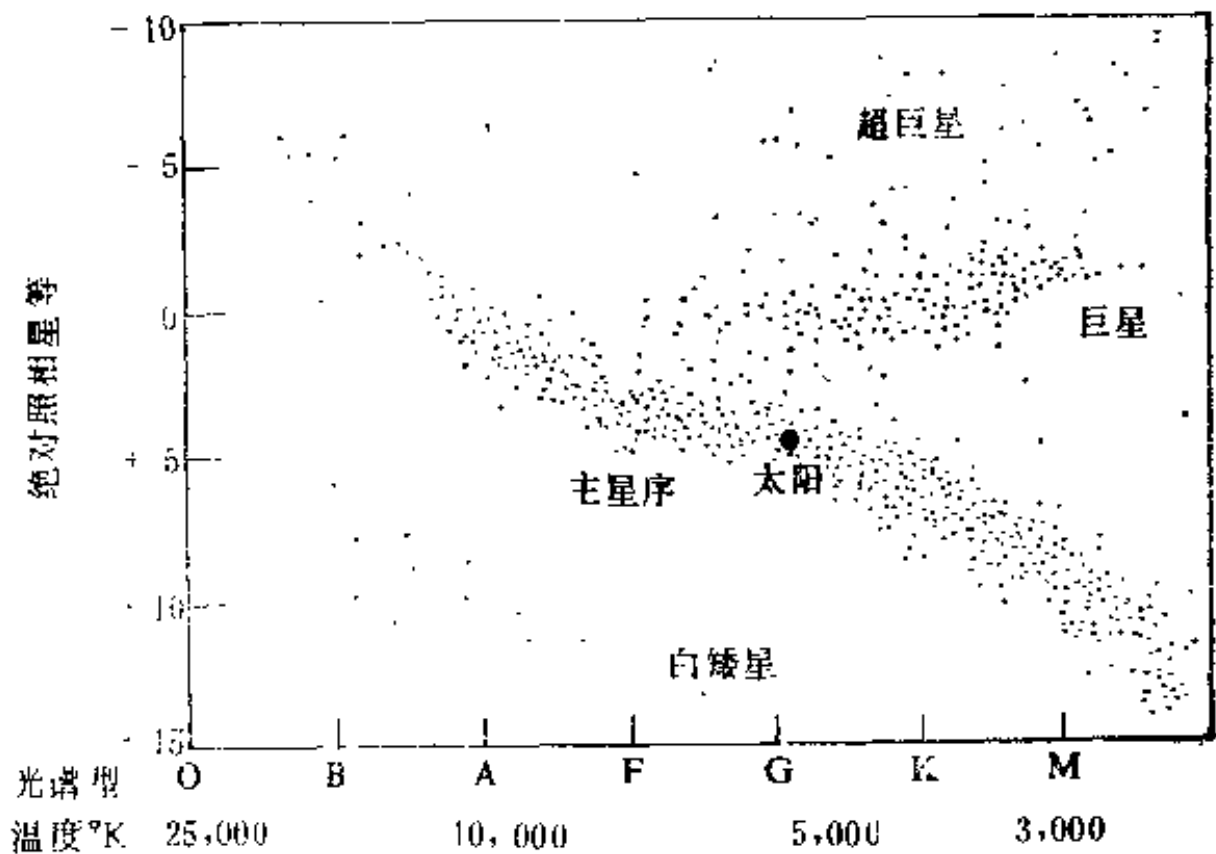


图1-15 赫罗图

实际上在视线方向上却相距甚远，它们之间无物理联系，这样的双星叫光学双星。而把实际上相距很近，有物理联系，环绕公共质量中心运行的双星，叫做物理双星。构成双星的两颗恒星，称为双星的子星，其中较亮的为主星，较暗的为伴星。全天最亮的天狼星就有一颗肉眼看不见的伴星，主星天狼星直径为太阳的2倍，光度为太阳的34倍，而天狼伴星直径仅为48000公里（和海王星差不多），光度只有太阳的1/360。

在聚星中，三颗恒星聚在一起的，叫三合星，四颗聚在一起的，叫四合星，依此类推。例如：双子座 α 星（北河二）是由六颗星组成的六合星；大熊座 ϵ 星（开阳）是由七颗星组成的七合星。

星团组成的规模差别也很大，由几十颗到几百颗恒星构成的星团叫疏散星团，位于金牛座中的昴星团就是著名的疏散星团之

一，它由280颗恒星组成，肉眼可见六七颗星，所以又称七姐妹星团。由几千颗到几十万颗恒星组成的星团，称球状星团。武仙座M13就是著名的球状星团之一，它是由数十万颗恒星组成的。

6. 特殊的恒星

巨星 光度比太阳大100倍，体积大（直径比太阳大一二十倍）而密度小的恒星，称巨星。牧夫座 α 星（大角）、金牛座 α 星（毕宿五）都是著名的巨星。

超巨星 光度比太阳大5000倍，甚至超过10万倍的恒星。体积很大，密度很小。猎户座 γ 星（参宿四）、天蝎座 α 星（心宿二）、天鹅座 α 星（天津四）都是著名的超巨星。

白矮星 光度小，体积很小，但密度极大的白色恒星，叫白矮星。天狼星的伴星即为一颗白矮星，它的体积和海王星差不多，但质量却和太阳相近，所以它的密度比水大3万倍。

变星 大多数恒星亮度不变，而个别的恒星亮度起伏变化着，称为变星。因恒星内部或其大气的物理状态变化而引起亮度变化的恒星，叫物理变星；因两颗很接近的恒星相互遮掩而引起亮度变化的恒星，叫食变星。

新星、超新星 原来很暗，肉眼看不见的恒星，由于本身突然爆发，光度猛增到原来的几万倍到几百万倍的星，称之“新星”。光度增大得更多，可达原来的1000万倍的新星，称之“超新星”。新星或超新星爆发后，恒星完全瓦解成为星云，或是失掉大部分质量，剩下残骸收缩成为白矮星、中子星，进入恒星的晚年阶段。

脉冲星 20世纪60年代后期发现的新型恒星。因其周期性地发射出短促的脉冲辐射，所以称为脉冲星。它发射脉冲辐射的周期很短，约在0.03—4秒之间，绝大多数脉冲星只发射射电波段（波长从1毫米—30米的电磁辐射）。目前认为，脉冲星是具有很强磁场的快速自转着的 neutron star。

中子星 新星或超新星爆发后，残留下来的密度极高的星体，当它的密度达到或超过原子核密度时，电子与质子已不能作为分开的单个实体存在，而是在极高压下结合成中子，由中子组成的星，称为中子星。它的半径仅10公里左右，而它的质量约在0.1—2倍太阳质量之间。也就是说，它的密度高达每立方厘米为10¹⁴—10¹⁵克的质量。

恒星世界是多姿多采的，以上介绍仅是其中部分成员概况，许多问题目前还不清楚，有待进一步探索。恒星所表现的不同形式，是恒星演化到一定阶段的产物，因此对它们的探索和研究是揭示天体演化历史的重要途径。

二、星云和星际物质

天空中除了闪烁发光的恒星之外，还可见到云雾状天体，它们是气体尘埃云，称为星云。星云的温度较低，处在极端稀薄状态。按其所处的空间位置，可分为银河星云和河外星云两大类。

银河星云也叫河内星云。由星际气体和尘埃组成。如果星云附近有光度较大或温度很高的恒星，星云便反射恒星光，或者受高温恒星的紫外辐射作用，激发而发光，这样的星云称为亮星云。猎户座大星云就是一例。如果星云附近没有光度较大或温度很高的恒星，星云便不发光，称为暗星云。暗星云掩蔽其后面的恒星，使其所在的天空区域星数很少，显出暗星云的形状。猎户座内的“马头星云”就是著名的暗星云。

亮星云按其形状又可分为行星状星云和弥漫星云。行星状星云呈圆形或扁圆形，犹如行星外形，在其中央常有一颗高温恒星。其直径可达几光年，密度比地球大气还要小。弥漫星云形状不规则，没有明显的界限。范围比行星状星云大得多，直径可达几十光年。密度更小。

除恒星和星云之外，在广漠的星际空间也不是真空的，仍充满着比弥漫星云更稀薄的物质，称星际物质。它是由星际气体、

尘埃和星际云组成。目前已经发现组成星际物质的分子有60多种，其中包括一些有机分子和同位素，如氰基、氨、甲醛、甲醇等。对这些星际有机分子的研究，与生命起源问题有着密切关系。目前还认为，星际云与恒星的形成有直接关系。星际云是由星际物质聚集而成的。星际云由于本身的引力作用而收缩，收缩时温度升高，质量较小的星际云最后可形成一个恒星。太阳系很可能就是由一个星际云收缩而形成的。质量较大的星际云最后可形成星团。因此，对星际物质的观测和研究，对天体演化、生命起源等重大的自然科学问题都具有重要意义。

三、银河系的形状和结构

在北半球中纬地区，夏季夜晚仰望晴空，繁星点点，从东北方向越过头顶向西南延伸有一星光密集的光带，这就是通常所说的银河。在银河的东岸有一亮星，它是天鹰座 α 星，即牛郎星，与它遥遥相望，银河西岸有一很明亮的星，便是天琴座 α 星，即织女星。牛郎星距地球16光年，织女星距地球26光年，我国民间神话故事“牛郎”和“织女”相会是不可能的。因地球的公转，银河在天空的位置也相应改变。冬季银河的方向是从西北到东南，经过的主要星座有仙后、英仙、御夫、麒麟等。用望远镜观察银河，它是由许多密密麻麻的恒星和星云组成。因它们离我们非常遥远，个体难辨，看起来只是一条明亮的光带。

从侧面看银河系呈球状，其中间天体密集区，好象一个铁饼（图1-16）。我们看到的银河，就是它在天球上的投影。从正西看，银河系呈旋涡状（图1-17）。

整个球状银河系的直径约10万光年。其中天体密集构成铁饼状的部分，叫银盘，它是银河系的主体，其直径约8万多光年。银盘中心隆起，近似球形，叫核球，直径约一万多光年。核球的中心，恒星更加密集，形成一个更加致密的区域，叫银核。在银盘之外，恒星和星云稀疏地分布在一个圆球状的空间范围内，叫做

银晕。太阳处于银盘上距中心约 3 万光年的位置。银河系中心在人马座方向上。

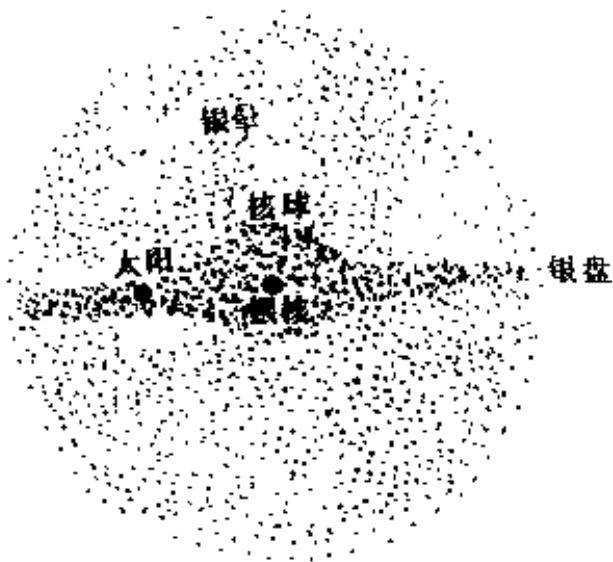


图1-16 银河系侧视图

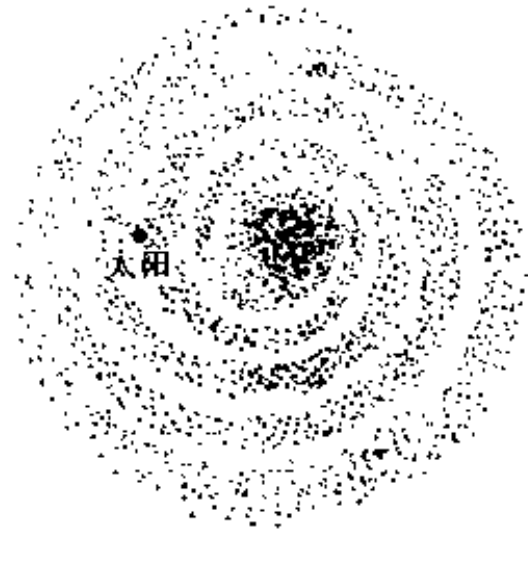


图1-17 银河系正视图

银河系内物质分布不均匀，不仅表现在上述银核、核球、银盘、银晕的差异上。在银盘上恒星分布也是很不均匀的。在银盘上由核心向外伸出 4 条旋臂，旋臂又是恒星密集区，太阳处于一个旋臂的内边缘。旋臂之间是恒星稀疏区。旋涡结构是银盘最主要的特征。

旋涡结构是由于天体围绕银河系中心旋转而形成的。这也说明，整个银河系存在着绕其中心的自转运动。在自转的同时，银河系整体还朝麒麟座方向以每秒 214 公里的速度运动着。所以，银河系在宇宙空间的运动，就好象一个车轮，在自身旋转的同时又向前运动。

太阳和其他恒星都围绕银河系中心，在各自的轨道上运行着。太阳在银盘的近于圆形的轨道上，以每秒 250 公里的速度运行，其绕银河中心一周的时间为 2.5 亿年，称为一个宇宙年。

第四节 河外星系、总星系

地球是太阳系里比较小的一颗行星，太阳又是银河系里1500亿颗恒星中的普通一员，银河系又是众多星系中的一个。人类认识的领域随着科学技术水平的发展在深度和广度上总是在不断前进。

目前已经观测到，在银河系之外，和银河系同级的恒星系统约达10亿个。因为它们都处在银河系以外，所以统称为河外星系，又因它们相距遥远，看起来象弥漫的星云，故又叫河外星云。距银河系最近的河外星系是大麦哲伦云和小麦哲伦云。它们是南部天空肉眼可见的两个不规则星系。1520年航海家麦哲伦在南美洲南部发现的，故取名麦哲伦云。大麦哲伦云距地球15万光年，小麦哲伦云距地球17万光年。距离地球最近最亮的星系是著名的仙女座星系，它是个旋涡状星系，离地球200万光年。

河外星系的组成差别很大，有的只由几万颗恒星组成，有的是由几百亿甚至上千亿颗恒星组成的巨大河外星系。按照河外星系的外形可把它们分为：旋涡星系、椭圆星系、不规则星系三大类。

旋涡星系都具有旋涡结构，一般都有一个很亮的核心，从核心延伸出两条或两条以上的旋臂。旋臂中聚集着光度很大的巨星、超巨星和亮星云。星系的对称面附近集中了大量的天体物质，所以从侧看去呈梭状或铁饼状。大多数河外星系属于此类，银河系、仙女座星系都是旋涡星系。

椭圆星系的外表呈不同偏心率的椭圆形。内部恒星分布不均，内密外疏。组成这类星系的恒星很相似，光度最大的是橙色及红色超巨星，但星际弥漫物质很少。大多数较小的星系都属于此类星系。

不规则星系没有一定形状，它有一个密集的核心，属于此类星系占比重最小。

在宇宙空间，星系的分布也是不均匀的。它们成群地分布，称为星系群。在银河系附近 200 万光年范围内，已发现 26 个星系，这个包括银河系在内的星系群，称本星系群。其中最大的成员是仙女座星系和银河系。

由若干个星系群组成的，更高一级的星系集团，叫星系团，它包括几百到几千个星系。由包含本星系群在内的，直径约 6000 万光年的范围内，组成的星系集团，叫本超星系团。目前已观测到的星系团约有一万个，它们好象星罗棋布地分散在广阔的宇宙海洋中的岛屿，所以又称宇宙岛。

目前我们观测到的最大距离是 360 亿光年，在这以 360 亿光年为半径的范围内，所有星系的总称，叫做总星系。它是我们目前所认识的宇宙最高级的天体系统，但它并不是全部宇宙仅仅是宇宙的一部分。

第五节 天体的起源和演化

一、太阳系的起源

太阳系的起源是个复杂难解的问题，对它的研究已经有 200 多年的历史了，但至今还没有形成一个令人满意的理论，仍停留在假说的阶段。关于太阳系起源问题有几十种假说，其中具有代表性的假说有：康德-拉普拉斯星云说；秦斯潮汐说和施密特俘获说等。在诸多的学说中，星云说为多数学者所接受，1972 年在法国召开的国际太阳系形成的学术讨论会上基本上肯定了星云说。

最早提出星云说的是德国哲学家康德。他于 1755 年发表《宇宙发展史概论》中提出了太阳系起源的星云说。他认为，形成太

阳系的物质微粒最初是分布在比现在太阳系大得多的空间内的星云。由于引力作用，组成星云的微粒相互接近，逐渐形成团块，较大的团块成为引力中心。中心体因不断吸引合并四周的微粒和小团块而增大，最后聚集成太阳。有些微粒在向中心体聚集的过程中，因互相碰撞而改变了运行方向围绕中心体作圆周运动。这些微粒又各自形成小的引力中心，最后形成绕太阳运行的行星。行星周围的微粒按相似的过程聚集成卫星。在18世纪中期，康德能把太阳系的形成看成是物质按其客观规律运动发展的过程，这是很了不起的成就。恩格斯给予高度的评价，他认为这是“从哥白尼以来天文学取得的最大进步”，是在“形而上学思维方式的观念上打开了第一个缺口”。

提出星云说的另一学者是法国天文学家、数学家拉普拉斯。他于1785年发表《宇宙系统论》。他认为，太阳系最初是一个灼热而旋转的星云，因逐渐散热而冷却，冷却收缩旋转速度加快，使惯性离心力越来越大，于是星云呈扁平状，赤道部分突出。当离心力超过引力时，逐次分裂出许多气体环。最后，星云中心部分凝聚成太阳，各个气体环凝聚成行星，较大的行星在冷却收缩过程中，因旋转加快，又可分出小的气体环，它们又可凝聚成卫星。拉普拉斯的学说与康德的虽有区别，但他们都认为太阳系是由星云物质转化而成的，所以通常把他们的学说合称为康德-拉普拉斯星云说。

星云说能较圆满地说明太阳—行星—卫星的形成过程，并解释了它们的运动规律——行星运动的同向性、共面性和近圆性。星云说是建立在客观物质内部运动规律基础之上的，这正是它的合理性、正确性之所在。但它对于太阳系中某些特殊问题未能很好解决。如太阳质量占整个太阳系的99.85%，而为什么其角动量却只占0.73%？为什么金星和天王星自转方向以及某些卫星的公转方向都是顺时针方向？这类问题在星云说中没有得到答案。这些

问题至今仍然是许多天文学家力图解决的难题。

二、恒星的起源与演化

恒星的生命史是漫长的，演化是非常缓慢的。现代天文观测已证明，新的恒星不断诞生，老的恒星不断衰亡，新老交替形成了恒星演化的历史。与人类历史相比，恒星的历史是极为漫长的。在短暂的人类历史时期内，不可能获得一个恒星的全部生命过程的资料。但是我们可以在形形色色的恒星中确定它们之间发展演化过程中的联系，把幼年的、壮年的、中年的、老年的加以序列化，探讨它们之间的转化条件，找出它们的发展规律，从而弄清它们的演化历史。

关于恒星的起源有两种看法：一种认为，恒星是由某种超密状态的巨大“星胎”爆发而诞生的；另一种认为，恒星是由弥漫状态的星云逐渐收缩凝聚而成的。近年来许多观测资料为后一种观点提供了证据，恒星由星云转化而来的观点，已被广泛承认。

恒星起源和演化的过程，就其实质来看，就是恒星内部物质的吸引和排斥对立统一的过程。其具体表现是恒星的收缩和膨胀的过程。依此过程可以把恒星的演化分为四个阶段，即引力收缩阶段（幼年期）、主序星阶段（壮年期）、红巨星阶段（中年期）和白矮星、中子星、黑洞阶段（晚期）。

1. 引力收缩阶段（幼年期）

在宇宙空间，弥漫着星际物质，其密度极为稀薄，数量级约为 10^{-24} 克/厘米³，但密度是不均匀的，密度较大处可成为引力中心，聚集星际物质，形成星际云。星际云由于自身的引力作用而收缩，在收缩的过程中引力位能转化为热能，一部分向外辐射散失掉；另部分使内部温度升高。星际云演化成恒星胚胎，引力收缩继续进行，最后形成向外辐射红外线的红外星。红外星的体积很大，直径可达太阳的几百倍到几千倍，而表面温度却很低，只有几百度，是迄今所知道的最冷的恒星。红外星就是幼年的恒

星。概括起来，这一阶段经历着由星际物质—星际云—恒星胚胎—红外星的过程，引力收缩起着支配作用，引力位能为主要能源。

2. 主序星阶段（壮年期）

红外星因引力收缩使其内部温度不断增高，当中心温度达到80万度以上时，内部开始出现热核反应，成为新的能源。当中心温度升高到700万度时，氢—氢聚变核反应所产生的热能和向外辐射消耗的热量达到相对平衡，星体不再收缩，引力与斥力处于平衡状态，此时恒星发育成熟，进入壮年期。它们在赫罗图上，按其质量从大到小的顺序分布在从左上角到右下角的主序星带内，所以这一阶段叫主序星阶段。这一阶段的特点是，引力收缩停止，引力与斥力相平衡，物质运动状态处于相对平衡，核反应是其主要能源。

在恒星组成的物质中氢最为丰富，氢核聚变反应可以在很长的时期内提供能量，维持着恒星的强烈辐射，所以恒星在这一阶段停留的时期长，数量多，太阳在主序星阶段大约要停留100亿年，目前已经度过了约50亿年。

3. 红巨星阶段（中年期）

恒星的温度和密度越向中心越增加，所以中心部分氢核聚变反应进行得最快。当中心区氢核消耗到一定程度时，核反应减弱，产生的能量供应不足，而在中心区外围，氢核聚变核反应仍继续进行，恒星内部排斥力和引力的相对平衡及其稳定状态被破坏，内部又开始收缩。因内部收缩而释放出来的能量，使恒星外壳急剧膨胀，变成体积大、密度小、表面温度低，但光度仍增强的红巨星。恒星内部收缩，温度升高，当达到一亿度以上时，就产生新的热核反应，三个氦核聚变为一个碳核，再度产生极大的能量，内部压力增高，斥力与引力再度出现相对平衡，恒星又稳定下来，度过它的中年期。估计太阳将来也要变成红巨星，在此阶段约维持10亿年左右。

4. 白矮星、中子星、黑洞阶段（晚期期）

红巨星内部进行着剧烈的氦—碳核反应，温度越来越高，当内部温度达到60亿度时，产生极强的辐射，向外放射着巨大的能量和质量。此时斥力大于引力，它们之间的平衡再度破坏。质量大的恒星多发生大爆炸，使本身光度突然增高几万倍甚至几亿倍，形成新星或超新星爆发；质量小的恒星不发生爆发现象，可直接转化白矮星。新星或超新星爆发，外层物质大量向宇宙空间抛射，形成新的星际物质，又成为孕育新的恒星的原材料。内部高密度的核心部分，成为爆炸后的残骸。依恒星的质量不同，爆炸后的残骸表现形式也不一样。质量小于太阳质量1.44倍的恒星，经爆炸后，内部核能枯竭，靠引力收缩来维持，剩下的残骸演化为白矮星。现在发现的白矮星有1000个以上，天狼伴星就是一个白矮星，它的密度为780公斤/厘米³。质量为太阳质量的1.44—2倍的恒星，经超新星爆发后，内部物质急剧坍缩形成超高密的中子星。质量超过太阳质量2倍以上的恒星，因其质量大引力作用极强，爆发后，内部物质更加急剧地坍缩，形成密度更大的坍缩星或称黑洞。坍缩星因其质量大，特别是其密度极大，天体物质高度地集中到很小的体积内，它的引力大到任何物质都不能逃脱，天体产生的辐射也出不来，所以这样的天体又称黑洞。黑洞不发光，但有强大的引力，依此可推测它的存在。

第六节 空间探测和空间开发

自1957年苏联发射第一颗人造地球卫星以来，空间技术迅速发展，宇航事业蓬勃兴起，人类揭开了宇航时代的序幕。从此开始，人类飞出了地球，遨游太空，以前所未有的规模和视野范围，观察着地球，探测着其他行星，搜查着宇宙间的各种信息。打开了人类认识地球，了解宇宙的新篇章。尽管宇航事业还很年

表1-5 恒星演化过程示意图

恒星演化过程	状态	能量来源
星际物质 ↓ 星际云 ↓ 红外星	收 缩 ↓	引 力 收 缩
主序星 ↓ 红巨星	平 衡 ↓ 平 衡 ↓ 膨 胀	热 核 反 应
新星或超新星爆发	收 缩 ↓ 坍 缩	引 力 收 缩
<ul style="list-style-type: none"> — 白矮星 — 中子星 — 黑 洞 		

轻，但它已经显示了无限的生命力，其广阔前景是肯定的，但依目前的认识还无法充分估计。

空间技术也叫航天技术，它是一门涉及面广，综合性极强的现代尖端科学技术。从横向来看，空间技术要以许多现代科学技术和新兴工业的成果为基础，如电子、通讯、计算机、自动控制、遥感、材料、能源等新技术、新工艺。从纵向来看，一项航天工程的实现需要航天器、运载火箭、发射与回收、地面控制和应用处理等诸多系统的研制。因此，空间技术是新技术革命的重要领域，是衡量一个国家科学技术水平和现代化程度的重要标志之一。

目前空间技术已广泛地应用到国民经济、军事国防、科学研究等许多方面，并且越来越显示出巨大的效益和价值。

一、空间飞行的基本原理

1. 三个宇宙速度

地球因其有一定质量而产生吸引力，把靠近它的一切物体吸引在地球表面及其周围。在地面上抛起的物体，发射出的炮弹，最后都会落回地面，就是因为地球引力将它们吸向地心的缘故。某一物体要环绕地球飞行，或完全脱离地球飞向星际空间，必须克服地球引力。克服地球引力的关键是必须具有很高的水平速度。

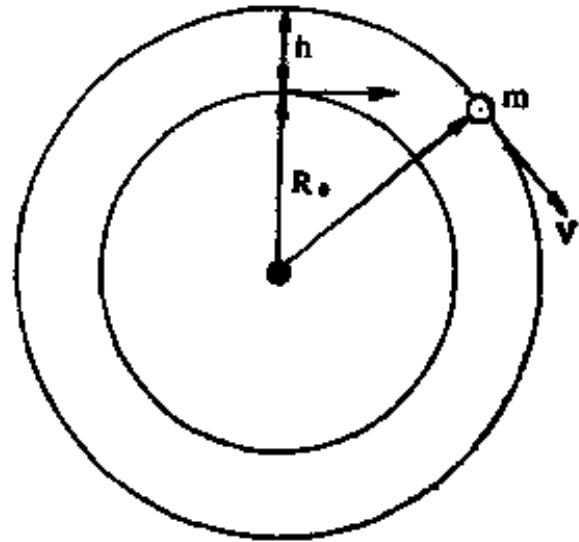


图1-18 卫星绕地球的圆周运动

现假设环绕地球运行的卫星速度为 V （图1-18），质量为 m ，与地心的距离为 r （ $r = R_0 + h$

R_0 为地球半径， h 为轨道高度），则卫星作圆周运动所需的向心力为：

$$F = m \frac{V^2}{r}$$

地球对卫星的引力为：

$$F' = mg \quad g \text{ 为地球重力加速度}$$

因为卫星作圆周运动，向心力必定等于引力，即：

$$m \frac{V^2}{r} = mg$$

可得出 $V = \sqrt{gr}$

式中 g 值是卫星高度处的重力加速度，其大小与离地心的距离平方成反比，即：

$$g = g_0 \frac{R_0^2}{r^2}$$

g_0 为地球表面的重力加速度，把 g 值代入上面公式，最后可得：

$$V = \sqrt{g_0 \frac{R_0^2}{r}}$$

如果卫星在离地面不远的高度运行，可以近似取 $r = R_0$ ，于是 $V_1 = \sqrt{g_0 R_0}$ ，若取 g 为 9.8 米/秒²， R_0 为 6378 公里，代入后，就可得到卫星的环绕速度 $v_1 = 7.9$ 公里/秒，这就是第一宇宙速度，它约为普通民航飞机速度的 20 多倍。

如果卫星的速度比第一宇宙速度大，那么它绕地球飞行的轨道将是个椭圆，地球处在椭圆的一个焦点上。卫星速度越大，椭圆就变得越扁。当速度增大到某一数值时，卫星就会摆脱地球对它的引力，沿抛物线运行进入太阳系。达到这一数值的速度，称为第二宇宙速度，也叫逃逸速度。其值可按下式计算：

$$\frac{1}{2} m V_2^2 = m g_0 R_0$$

式中等号左边是质量为 m 的卫星发射时所具有的动能（ V_2 为第二宇宙速度），右边是卫星从地球表面逃脱地球引力场时，所要做的功。

由上式可得出 $V_2 = \sqrt{2g_0 R_0} = \sqrt{2} V_1 = 11.2$ 公里/秒。因此，当卫星的速度达到第二宇宙速度即 11.2 公里/秒时，就可逃出地球引力场呈抛物线轨道，在太阳系中运行。

如果卫星的速度超过第二宇宙速度，达到 16.6 公里/秒时，连太阳的引力也吸引不住它了，卫星将沿着双曲线轨道飞出太阳系，这个速度称为第三宇宙速度（图 1-19）。

2. 火箭推进原理

发射空间飞行器的关键是速度，这就必须依靠威力强大的运

载工具——火箭。

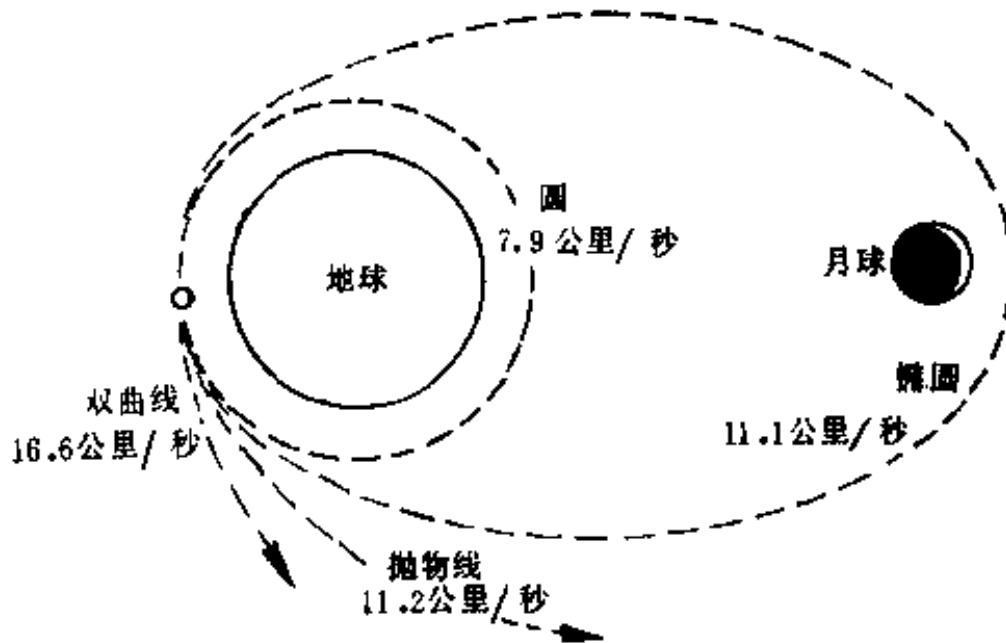


图1-19 三个宇宙速度

众所周知，飞机的喷气发动机燃烧煤油，它利用空气中的氧气为氧化剂，所以飞机的飞行离不开大气。但飞机发动机的推力不足以把飞行器加速到宇宙航行所需要的速度。因此，空间飞行器要用火箭发动机代替飞机发动机。火箭发动机所消耗的燃烧剂和氧化剂（二者统称推进剂），都是由火箭自身携带的，因此火箭可以在真空中飞行。

在火箭飞行时，火箭内部的燃料和氧化剂在极短的时间内，发生爆炸性的燃烧，产生大量高温、高压的气体，从尾部喷出。喷出的气体具有很大的动量，按照动量守恒定律，火箭就获得数值相等、方向相反的动量，因而发生连续的反冲现象，随着气体的不断喷出，火箭的质量越来越小，而它的速度就越来越大。当燃料烧尽时，火箭即以获得的最大速度继续飞行。

目前所用的化学推进剂还不够理想，单级火箭还不能把卫星和飞船送入轨道，所以必须采用多级火箭。

多级火箭由两个以上的火箭连结而成，最底下的一级叫第一

级火箭，往上便是第二级、第三级等。在发射台上第一级火箭点火，火箭随即上升，火箭推进剂燃完后，它便自动脱落；接着第二级火箭点火，继续加速火箭，第二级火箭推进剂燃完后，也自动脱落；第三级开始工作。这样每过一段时间就抛掉一些重量，减轻飞行负担，使火箭获得更高的速度。

采用多级火箭技术，在太阳系空间飞行问题已基本解决，但速度还是慢了些。比如按目前的速度，从地球到邻近的金星，要花一百多天的时间；到更远的行星，得花几年、十几年的时间。为此，现在人们正在探讨利用原子能作火箭动力，即原子火箭。如果要飞出太阳系到其他恒星，飞船速度至少要达到0.5—0.8倍光速。从理论上讲，可以利用光子火箭，它向外喷射的不是气体而是光子，速度可达30万公里/秒。这样飞船就有可能被加速到接近光速，但这在目前还只是一种设想。

3. 人造地球卫星的轨道

运载火箭把空间飞行器送入运行轨道后自行脱落，空间飞行器开始了太空遨游。空间飞行器又叫航天飞行器，简称航天器，它包括人造地球卫星、宇宙飞船、空间站、空间探测器等。各种航天器根据不同的用途，各有不同的运行轨道。下面仅介绍人造地球卫星的轨道。

人造地球卫星环绕地球作周期性的运动轨道只有两种，即圆形轨道和椭圆形轨道，而前者乃是后者的特例。

卫星在椭圆轨道上运行时，距地面最近的一点，叫近地点；距地面最远的一点叫远地点。地球的中心是椭圆的一个焦点。卫星环绕地球运行一圈所需的时间，称为运行周期。卫星越高，飞行速度越慢，运行周期越长。

卫星运行轨道所在的平面叫轨道平面，它是通过地心的。轨道平面与赤道平面的夹角，叫轨道倾角。按照轨道倾角的大小，可把卫星轨道分为四种类型（图1-20）。

轨道倾角小于 90° 的叫顺行轨道。把卫星送入顺行轨道，运载火箭需朝东方向发射。这种发射方向能够利用地球自西向东自转的一部分速度，可节省运载火箭的能量。轨道倾角越大，可节省的能量越小。早期发射的卫星几乎都采用顺行轨道。

第二种是轨道倾角等于 90° 的，叫极轨道。由于它的轨道平面通过地球两极，所以这种极轨道卫星可以飞经地球上的任何地区上空。因此，执行观测地球任务的卫星如地球资源卫星、气象卫星、侦察卫星等，多采用这种轨道。

第三种是逆行轨道，轨道倾角大于 90° 。把卫星送入这种轨道，运载火箭需朝偏西方向发射，和顺行轨道卫星相反，它需额

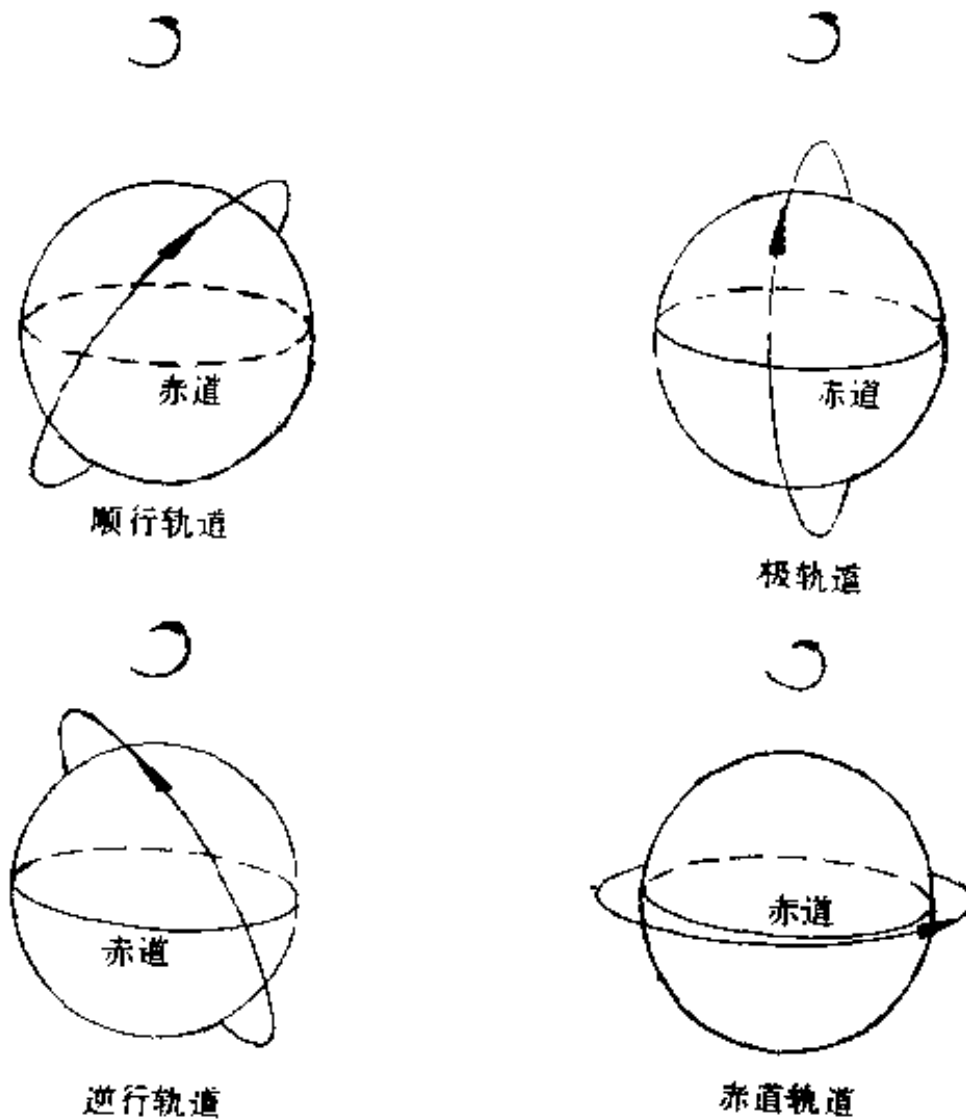


图1-20 人造地球卫星轨道类型

外消耗更多的能量，以克服一部分地球自转速度。

第四种是赤道轨道，轨道平面倾角为 0° 。如果卫星在离地面35800公里高度的圆形轨道上飞行，则它的运行周期是23小时56分4秒，这个时间正好和地球自转一周的时间相同。因它是赤道轨道，飞行方向也和地球自转方向一致，那么卫星和地面之间保持着相对静止状态。也就是卫星“固定”在地球赤道上空的某一点上。这种轨道叫做地球同步轨道。许多卫星如通信卫星、气象卫星、导航卫星等都采用地球同步轨道。

二、空间飞行器

1. 人造地球卫星

人造地球卫星是不载人的航天器。它的外形多种多样，有球形的、方体形的、圆柱形的，以及其他不规则形状。我国发射的第一颗卫星，“东方红一号”卫星就是一个直径为1米的球形多面体。卫星上的各种仪器仪表是根据卫星的不同用途和要求选用的，相应地也就有不同类型的卫星。不同类型的卫星很难截然划分，一星可以多用，不同类型的卫星也可以有同样的功能。

2. 宇宙飞船

宇宙飞船是载有人的航天器。目前宇宙飞船有两类：一类是围绕地球进行载人飞行的，如苏联的“东方号”、“联盟号”、“上升号”飞船，美国的“双子星座”、“水星”飞船；另一类是以载人登月飞行目标的。美国“阿波罗”11号宇宙飞船于1969年7月发射成功，人类第一次登月成功。载人宇宙飞船的结构比人造卫星复杂得多，需要有特殊的装置，包括生命保障系统，应急救生系统和返回系统。

3. 空间站

空间站也叫太空站，或称航天站。实际上它是一种大容积的宇宙飞船。空间站一般由单个普通房间大小的密闭舱组成，人在里面可以自由行动，做科学试验或加工生产，所以它就是空间实

表1-6 人造地球卫星的主要种类和用途

种 类	用 途
通信卫星	通信、广播、电视
地球资源卫星	勘测地球资源、监视地球、进行地球测量、军事侦察
气象卫星	气象观测、气象预报
军事卫星	军事侦察、通信、指挥、导弹预警、核爆炸探测等
导航卫星	为飞机、舰船导航
科学卫星	天文观测、物理探测、研究近地空间、日地空间和太阳
测地卫星	测量地球形状、地理坐标、地球重力场分布、地壳漂移等

验室或空间工厂。

发射空间站时,先用运载火箭把未住人的空间站送入轨道,然后再把宇航员送上去,进驻空间站。隔一定时期可以轮换一批宇航员,并给空间站补充燃料、氧气、水和食品等给养。因此,空间站可以长期使用,它是开发和利用太空的重要基地。在空间站里人们可以充分地利用微重力、高真空和无菌等特殊环境条件,加工制造地面上难以得到的新材料、新药物和新产品。空间站也是研究长期航天飞行对人的生理和心理影响的极好场所,研究航天环境对生物的生长和遗传影响的实验室。

1971年4月，苏联发射了世界上第一个空间站——“礼炮1号”，至今“礼炮号”已发射过7个，其中“礼炮6号”先后接纳过16批共33名宇航员，累积居住时间达676天。目前正在太空运行的“礼炮7号”最长的一次载人飞行达237天。美国在1973年5月发射过唯一的空间站——“天空实验室”，接纳过3批9名宇航员，累积载人飞行时间为171天。

4. 航天飞机

航天飞机是一种新型的航天运输工具，也是一种有人驾驶的，可以重复使用的航天飞行器。航天飞机的出现，是航天技术又一次巨大的进步。

在航天飞机出现以前，每发射一次卫星或飞船，就得报销一枚昂贵的火箭，耗资很大。现在有了航天飞机，它既象火箭那样能垂直发射，把卫星或飞船送上轨道，又能在完成航天运输之后重返地球大气层，象飞机那样方便地降落到地面，可以多次使用。航天飞机可以在空间直接把卫星释放到预定的轨道，也可以把需要回收的卫星从轨道上取下来带回地面。它在轨道上还能对航天器进行检查、维修，使之延长使用寿命，甚至对敌方的军用卫星进行拦截或破坏。也可以利用它为轨道上的空间站运送物资，定期轮换或营救遇难的宇航员，或为航天器添加推进剂等。所以，航天飞机兼有火箭、飞船、飞机等多种功能。为此，许多发达国家都为发展航天飞机作着巨大努力。

1981年4月，美国“哥伦比亚”号航天飞机首先升天。现在美国共有4架航天飞机。仅1985年美国通过航天飞机共发射了11颗商用通讯卫星，进行了3次太空实验室科研飞行，先后有58名宇航员乘坐航天飞机执行任务。

5. 空间探测器

前面介绍的几种空间飞行器，其运行空间虽然已经远离地面，但它们还都没超脱地球引力场的范围，“阿波罗”登上月

球，月球也是在地球引力作用下绕地球运行的。所以它们实际上还没有真正飞出地球。

探索太阳系中其它行星和行星际空间的航天器，称为空间探测器，也叫行星探测器。

1961年苏联首先发射了飞往金星的探测器，至今美国和苏联先后发射了10多个金星探测器，并多次在金星表面着陆。60年代以来，苏美两国向火星也发射了10多个探测器，也多次在火星表面降落。另外还有飞往水星的探测器。60年代到70年代中期，行星探测器的重点是邻近地球的金星、火星和水星。1972年美国首先向木星发射了探测器（“先驱者10号”）。1977年9月美国发射的“旅行者1号”，经过一年半的航行，行程6亿多公里，于1979年3月飞经木星，1980年飞经土星，1986年飞过天王星，1989年可经过海王星，然后可能飞出太阳系，进入茫茫的银河系，永不回返了。

行星探测器飞临行星上空或在行星上软着陆，通过无线电发回大量的照片和各种探测数据，为我们认识行星和行星际空间，直接提供真实的宝贵资料。

三、空间开发

目前，应用型空间技术日趋成熟，已经显示出它是一个经济效益高，开发潜力很大的科技领域。开发空间的目的首要的是为了开发地球，为人类创造巨大的物质财富和精神财富。

当前人类已经步入了信息时代，通信技术与计算机结合而形成的信息化是信息社会的最主要特征。卫星通信在沟通全球信息的联络中起着巨大的作用，只要在赤道上空的地球同步轨道上均匀地分布3个卫星，就能覆盖全球，实行全球通信。因此，空间技术是信息社会的重要标志。

空间技术直接为经济建设服务，创造与日俱增的财富。利用地球资源卫星可以完成多种任务。一是勘测资源，不仅包括地球

表面的森林、水力和海洋资源，也包括埋在地下和海洋底的矿物资源。二是监视地球，观察农作物长势，估计产量；发现森林火灾；预警火山爆发，预测预报地震；监视鱼群，指挥捕捞；监视农作物病虫害以及环境污染等。三是进行地理测量，据此可精确地绘制出各种地图。

气象卫星的出现使气象观测和预报大为改观。气象卫星观测的范围大、时间长、不受地理条件限制，从而大大提高了气象预报的及时性、准确性和长期预报的可靠性。

迄今已发射的卫星中，2/3用于军事。利用军事卫星进行军事侦察、通信以及为军事服务的气象、测地和导航等。

空间技术的发展也为科学研究提供了崭新的手段，扩大了研究领域，对当代科学产生着深远的影响。行星探测器的应用，使人们研究范围从日地空间扩大到行星际空间。通过对各行星的观测和比较，使我们更深入地认识地球和它的周围环境，同时帮助我们了解太阳的起源和演化，生命的起源等重大科学研究问题。

空间开发的前景是十分广阔的。在能源日趋紧张的今天，有人提出在地球同步轨道上建立大型的太阳能卫星发电站。宇宙空间存在着地球上所不具备的失重、高真空、强辐射、超低温、无菌等特殊条件，是建立空间实验室和空间工厂的优良环境。有人还提出建立空间医院的设想。随着空间开发的发展，将会有越来越多的人到宇宙空间进行各种各样的科学研究和生产活动。可望在不久的将来一种适于人类居住的场所——宇宙城定会出现。

四、我国空间技术概况

我国空间科学技术虽然起步较晚，但发展速度很快，在20多年时间内取得显著成绩。从1958年开始研制、试验探空火箭为起点，到1970年4月24日成功地发射了第一颗人造地球卫星，成为世界上第5个独立研制发射卫星的国家。

1975年一年内成功地发射了3颗卫星，特别是1975年11月26

日发射的人造卫星，在正常运行后，首次按预定计划返回地面。这使我国成为世界上第3个掌握回收技术的国家。

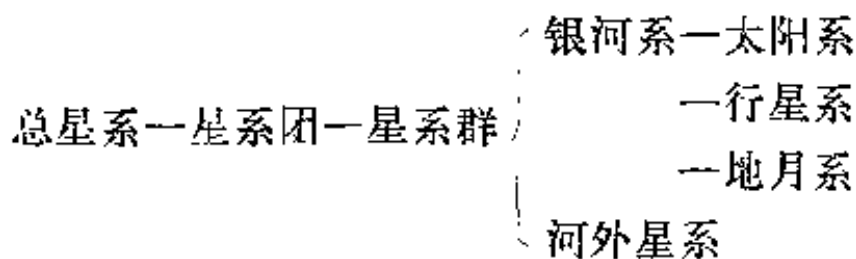
1981年9月20日，我国首次用一枚运载火箭成功地发射3颗卫星。“一箭三星”的成功，说明我国火箭技术已经达到世界先进水平。

1984年4月和1986年2月我国两次发射实用通信卫星成功，我国又跨入了掌握地球同步卫星研制发射技术的先进国家行列。

从1970年到1986年2月为止我国共发射了18颗人造卫星。已经建立了相当规模的卫星发射场和地面观测控制网。实用通信卫星的发射成功，在我国辽阔的土地上使各地之间的直接通信联系更加畅通，在边疆地区也能收看到中央电视台当天的彩色电视，通过通讯卫星进行着全国范围内的广播、电视教育活动。目前，我国已经将卫星遥感资料广泛应用于科研和生产领域，包括石油勘探、地质调查、国土资源调查、环境污染调查、海洋海岸测绘、地图测绘、考古等方面。这些成就，说明我国卫星技术已经进入了实用阶段，并且在精神财富和物质财富建设方面已经取得显著效果。

本章总结

一、目前我们在地球上所认识到的宇宙范围达到360亿光年，这个广阔的空间，就是我们居住的地球的宇宙环境。它是由不同等级的天体系统构成的，地球处在各级天体系统的最低位置上。



天体之间的引力，是支配着天体分布和运动最基本的力，也是维持着宇宙有序结构最基本的力。

二、各级天体系统都是由运动着的物质组成。运动着的物质

表现为演化不同阶段，不同类型的天体。其中恒星是诸多天体中最主要的成员，太阳就是普通的一颗恒星。

三、在太阳引力作用下，形成以太阳为中心的天体系统——太阳系。九大行星绕日运行，地球就是其中一员。太阳系内天体分布、运动及其性质都遵循着一定的规律。宇宙环境对地球的影响，最主要的还是太阳及其附近行星、卫星对地球的影响。主要表现在能量输送、物质交换和地球运动等方面。

四、地球仅仅是太阳系中一颗普通的行星，但它又是一个很特殊的天体。它是个有生命活动的世界，与其它天体存在着本质上的区别。这是因为地球在太阳系中的位置、运动特征及其质量大小、物质组成等因素综合影响的结果，因而形成一个具有特殊状态的，可以维持生命活动的地理环境。生物界以及人类活动又使地球面貌大为改观。

五、目前人们对于地球及其宇宙环境的认识还是很肤浅的，就是那些已知的世界仍需不断地完善和修正。随着科技水平的不断发展，新的发现新的成就将会不断涌现。现在已经有人提出一个新的太阳系正在形成，太阳系里存在第10颗行星，以及外星人等问题，对于诸如此类问题的探索和研究，必将大大加深我们对地球及其宇宙环境的认识。

复 习 题

1. 什么是“天球”？什么是“星座”？不同季节主要的星座有哪些？
2. 何谓太阳系？它是如何组成的？
3. 何谓“天文单位”、“太阳常数”？
4. 太阳巨大的能量是如何产生的？太阳温度分布状况怎样？
5. 概述太阳结构状况及太阳活动状况。
6. 试述太阳对地球的影响。
7. 行星如何分类？其主要特征是什么？

8. 概述金星、火星、木星主要特征,研究行星有何意义?
9. 为什么说地球是一颗特殊的行星?
10. 简要说明行星分布、运动的主要规律。
11. 测量恒星距离的单位有哪些? 说明其含意。
12. 星等是如何划分的? 根据什么?
13. 恒星的光谱、颜色和温度之间的关系如何?
14. 概述银河系的形状与结构特征。
15. 概述宇宙中不同层次的天体系统。
16. 概述太阳系起源星云说和恒星演化过程。
17. 空间探测的主要内容包括哪些?
18. 试述空间探测的重要意义。

第二章 地球的运动

地球的运动是很复杂的，它是多种形式运动的综合。地球既有绕地轴的自转运动，又有以太阳为中心的公转运动；同时地球又随同整个太阳系绕银河系中心运动。人们在地球上感觉不到地球的这些运动，但可以感觉到太阳东升西落和一年四季的交替变化，而这些现象正是地球运动的反映。因而，我们探讨地球运动的目的，就是为了解决地球上许多自然现象的形成和它的规律性。地球的运动是多种形式运动的综合，为了便于说明问题，我们只能把它分解为自转、公转以及其他形式的运动，分别加以研究。

第一节 地球的自转

一、地球自转的基本特性

地球自转是一种绕轴的转动，这个轴称为地轴。地轴经过地心和地球的南极与北极。因此，地轴就是通过地球两极假想的轴，自转就是地球绕地轴的转动。地轴与地球的赤道面相垂直。

1. 地球自转的方向

地球或者天球都是个球体，在球体上方向都是相对的。按照规定：面向正北（北极或天北极方向），左 90° 为西，右 90° 为东的原则来定地球上（或天球上）的方向。按照这个原则，地球自转的方向是自西向东的。因此，人们在地球上看到才有太阳东升西落的现象，天球上所有的星体也同样有和地球自转相反方向自东向西的运转，这是相对运动造成的。若观察者从天北极俯看地球的自

转，是逆时针方向；从天南极俯看地球的自转，则是顺时针方向。按规定：从天北极看去，凡按逆时针方向自转的天体，都是自西向东的，称这种自转为顺向自转；凡按顺时针方向自转的天体，都是自东向西的，称为逆向自转。地球是顺向自转，前面讲到的金星和天王星是逆向自转。

2. 地球自转的周期

所谓自转周期，就是自转一周所用的时间。为了确定地球自转一圈，就需要在地球之外选一参考点，做为计量自转一圈的开始和终止的标记。根据不同的需要，可选取不同的参考点，参考点不同，地球自转周期也就不同。参考点确定之后，在地球上确定一子午线，某一参考点连续两次通过该子午线的时间间隔，即为地球自转的周期。依参考点的不同，地球自转周期可分为：恒星日和太阳日。

恒星日：参考点为某恒星，该恒星连续两次通过同一子午线的时间间隔即为一恒星日，其长度为23小时56分4秒。

太阳日：参考点为太阳，太阳中心连续两次通过同一子午线的时间间隔即为一太阳日，其平均长度为24小时。

为什么太阳日比恒星日长3分56秒呢？其原因有二：一是地球在自转的同时还进行着公转；二是参考点与地球的距离不等。（见图2-1），如果地球只自转不公转，也就是说，地球在原地进行着自转。那么，对任何参考点来说，自转周期都是相等的，其长

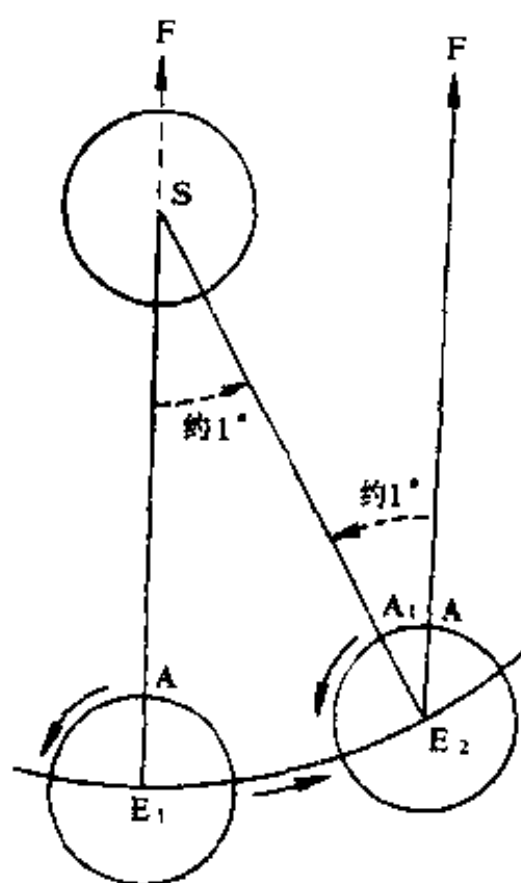


图2-1 太阳日和恒星日示意图

度都为自转 360° 的时间间隔。实际上在地球自转的同时地球也自西向东公转了一个角度。如图所示,地球由 E_1 到 E_2 ,对遥远的参考点恒星来说,地球在公转轨道上的位置变化可以忽略不计,对恒星的方向线都可看作平行线,因此地球由 E_1 到 E_2 已经自转了 360° ,即完成了一个恒星日。但对太阳参考点来说,距离近多了,地球在轨道上的位置变化不可忽略,公转的角度必须考虑,所以地球自转了 360° 之后还必须再向东转一个角度,其值约 1° ,才能完成一个太阳日。这就是太阳日比恒星日长的原因。因为地球绕太阳公转约 360° 即为一年,所以一天公转的角度约为 1° ,故太阳日比恒星日多转的角度约为 1° 。由此可知,恒星日才是地球自转的真正周期,确实是自转一圈(360°)的时间间隔,而太阳日是地球自转了一圈多的时间间隔。对人们日常生活方便来讲,使用太阳日,而不用恒星日。

3. 地球自转的速度

地球的自转速度是指地球表面上每一个质点绕地轴转动的速度。可以分为角速度和线速度。

角速度是指每一个质点在单位时间内绕轴所转过的角度。角速度与转动半径长短无关,除两极外全球各地自转角速度都是相等的,大约一天(24小时)自转 360° ,每小时 15° ,每分钟 $15'$,每秒钟 $15''$ 。

线速度是指每一个质点在单位时间内绕轴所转过的距离。线速度与转动半径有关,半径越长线速度越大,极地为零,赤道最大。赤道上的自转线速度为:

$$\begin{aligned}V_0 &= 2\pi R / 24\text{小时} \\ &= 1670\text{公里} / \text{小时} \\ &= 464\text{米} / \text{秒}\end{aligned}$$

式中 R 为转动半径,即赤道半径。

地球表面任一点的自转线速度与所在地纬度的余弦成正比,

即：

$$V_{\varphi} = V_0 \cos \varphi$$

式中 φ 为纬度， V_{φ} 为纬度 φ 处的自转线速度， V_0 为赤道上的自转线速度。

依上式可求出在纬度 30° 处的线速度为402米/秒， 60° 处为233米/秒。

地球的两极在自转时是不动的，所以其角速度、线速度均为零。

二、地球自转的证据

1. 天体的周日视运动

白天的太阳和夜晚的繁星都有东升西落的现象，好象它们都绕地球自东向西运转着。实际上并非是一些天体的自东向西运动，而是地球自西向东自转所产生的相对视运动。

太阳和其它恒星在短期内相对位置变化不大，以致很难察觉，我们可以暂时地认为它们都是镶嵌在天球上的天体。地球绕地轴自西向东的自转，可以相对地看成天球绕天轴（地轴无限延伸与天球相交的轴，即为天轴，相交的两点分别为天北极和天南极）。自东向西的旋转，这就是天球的视运动。对地球上的观察者来说，他所看到的现象是天球上的天体绕天轴自东向西的旋转。由于观察者所处的纬度位置不同，所见天体周日视运动状况也不一样。

人们所见天体的升落状况都是相对于当地的地平面而言的。我们把地平面无限扩展与天球相交所得的大圆，称为地平圈。天体视运动与地平圈的相对关系，就是人们观察到的天体周日视运动的状况（参见图2-2）。

在赤道上，地平圈与天轴重合，天体绕天轴运转，由东方垂直升起，从西方垂直落下，这就是在赤道上所见天体周日视运动

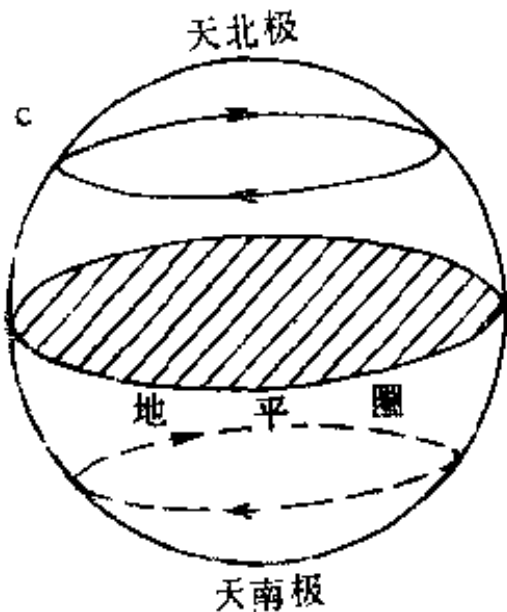
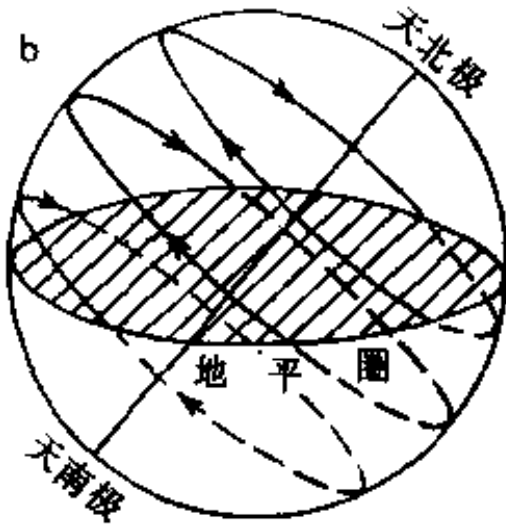
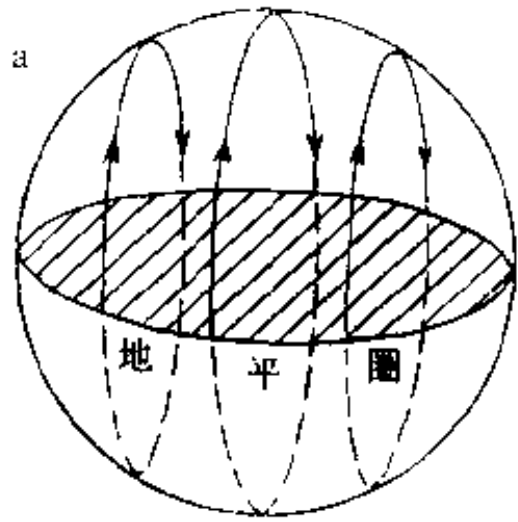


图2-2 天体的周日视运动
a 为在赤道上； b 为在中纬地区； c 为在极地

情况（图中a）。

在中纬地区，地平圈与天轴斜交，天体绕天轴运转，由偏东方升起，倾斜地通过南方，在偏西方落下，这就是在中纬地区所见天体周日视运动情况。（图中b）

在极地，地平圈与天轴相垂直，天体绕天轴运转，它们视运动的路线与地平圈平行，处在地平圈以上的天体永不下落，称为恒显星；在地平圈以下的天体永不可见，称为恒隐星（图中c）。

2. 落体东偏

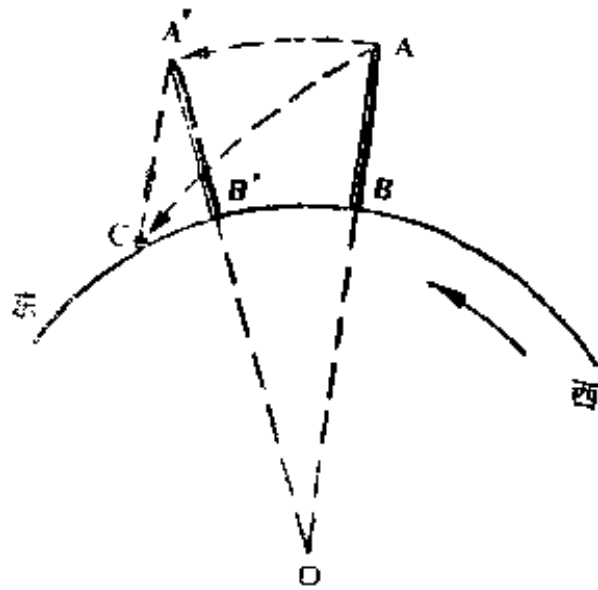


图2-3 落体东偏示意图

在地球表面由高处（图 2-3 A）落下的物体，不是垂直地面落下（B处），而是落在垂线的偏东方向，这就是落体东偏现象。

象。产生落体东偏现象是地球自转的结果。A、B 二点高度不同，但它们都随同地球自转，而高处A自西向东的线速度大，低处B自西向东的线速度小。物体自高处A落下的过程中，地球向东自转了一段距离，A到A'，B到B'，而落体是从A处出发的，因惯性作用它具有A处的线速度，因A处的线速度大于B处的线速度，所以物体落在B'以东的C处。英国人曾在5000英尺深的矿井内作落体试验，物体落点偏垂线以东 3 英寸。

3. 佛科摆的偏转

为了证明地球的自转，1851年法国物理学家佛科设计了一个巨大的摆，通过摆动面的偏转来证实地球的自转，后人把类似的装置就统称为佛科摆。当时佛科设计的摆长67米，摆端重锤27公斤，摆顶端的悬点是个特殊装置，以保证摩擦最小。这样的摆，摆动周期长，动量大，摆动持续时间很长。在摆的下方，为一固定在地面上的刻度圆盘。当给摆施加推力，使其沿某一方向摆动，人们可以从摆下方的刻度盘上记下初始摆动方向。过一段时间后，可以发现摆动平面而偏离了初始方向，而沿顺时针方向发生了偏转（在北半球）。实际上，依惯性原理，摆动平面方向并没发生改变（摆的悬点摩擦力很小，可以忽略，因此摆动方向不受地球自转影响），而固定在地表面的刻度盘随地球的自转，发生着按逆时针方向的转动。站在地面上的观察者，同样也随地球自转按逆时针方向转动。而观察者与刻度盘之间的相对位置没有发生变化，但是两者与摆动平面之间的相对位置有了改变。所以观察者直观的感觉是摆动平面按顺时针方向发生了偏转，而观察者与刻度盘按逆时针方向偏转并没察觉到。这也是一种相对运动现象，与天体的周日视运动有类似之处。在北半球，佛科摆按顺时针偏转的现象，正是地球按逆时针方向自转的反映。

在地球表面，人们是根据经纬线来确定方向的，经线表示南北向，纬线表示东西向。地球表面是个近似球面，经纬线在高低

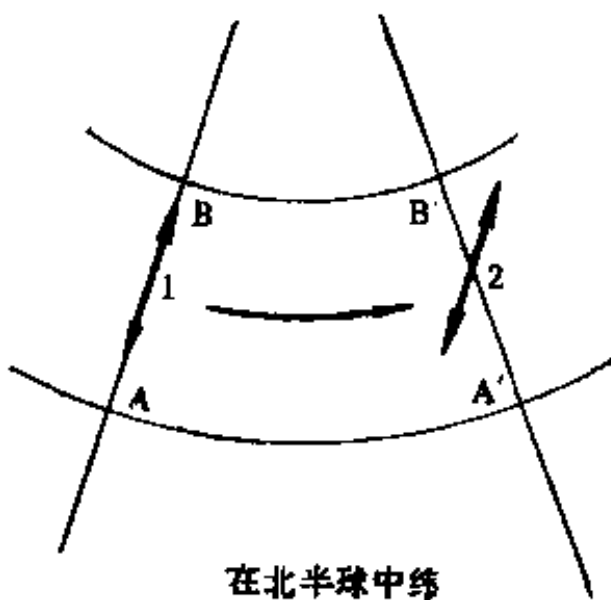
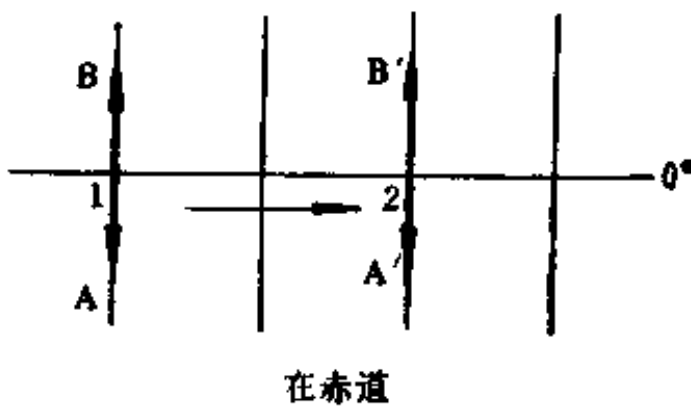
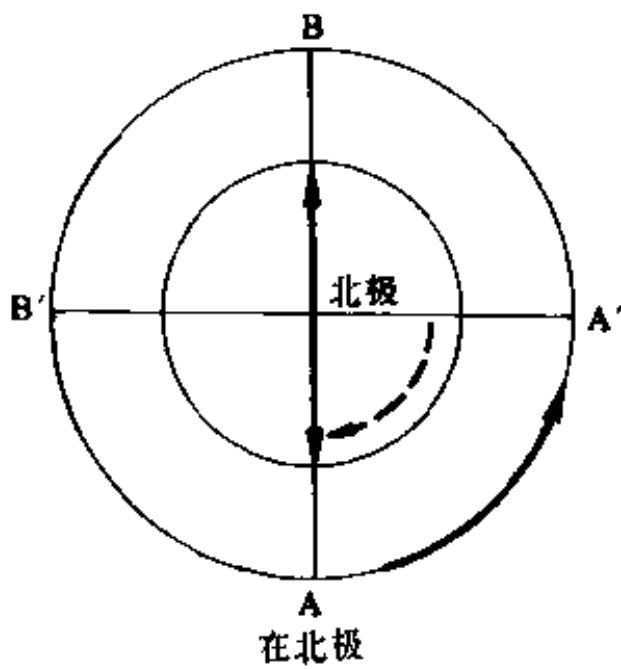


图2-4 在极地、赤道、中纬佛科摆的偏转

纬之间表现形式不同。因此，在不同纬度佛科摆偏转现象也不一样。现以北半球为例加以说明。

在极地，经线是以极点为中心的放射状直线，纬线为以极点为中心的同心圆。一天(24小时)经线按逆时针方向转动 360° ，每小时转 15° 。所以佛科摆每小时按顺时针方向偏转 15° 。(如图2-4)，初始，摆动平面与经线AB方向一致，6小时后AB转到了A'B'位置，摆动平面仍是AB方向，观察者认为它按顺时针方向偏转了 90° 。

在赤道，经线是垂直于赤道的平行线，地球自转，经线平行移动，方向不变，所以在赤道上佛科摆不发生偏转现象。

在中纬度，经纬线呈弧状梯形，随地球自转，经纬线方向都发生变化，所以佛科摆发生顺时针方向的偏转，其偏转的角度介于赤道与极地之间。可

用下列公式求得

$$\theta = t^{\circ} \sin \phi$$

θ 为摆动平面每小时偏转的角度

t° 为地球自转每小时的角度

ϕ 为当地地理纬度

例如：北京的纬度为北纬 $39^{\circ}57'$ ，佛科摆每小时偏转的角度为

$$\theta = 15^{\circ} \sin 39^{\circ}57' = 9^{\circ}.63$$

在南半球，佛科摆偏转方向与北半球相反，按逆时针方向偏转。

第二节 地球自转的地理效应

地球按一定的方向、速度和周期不停地自转着，发生在地球上的各种自然现象和人类活动无不受其影响，地球的自转运动对地理环境形成具有重要意义，各自然地理要素的空间分布和时间变化，都直接或间接地受着地球自转运动的制约。所以地球自转的地理效应涉及的内容非常广泛、复杂，现仅从最主要的最基本的方面加以阐述。

一、地理坐标的确定

地球表面地理坐标的确定是以地球自转特性为依据的。地球自转速度为零的两个点，就是地球的南极和北极，和两极等距平分南北半球的大圆就是赤道。两极和赤道构成了地理坐标的基本点和基本圈，在其基础上确定了地球表面的经线和纬线，建立了地理坐标系。

地理坐标的建立具有重大意义。首先是地球表面方向的确定，经线表示南北向，以北极的方向为正北，以南极的方向为正南；纬线表示东西向，顺着地球自转方向为正东，逆着地球自转方

向为正西。第二，有了地理坐标，地球表面上任意一点的位置就可确定，研究地理事物的空间分布和运动规律才有可能，这对于了解自然现象和社会现象的分布及其变化具有重要意义。第三，以地理坐标为根据而绘制的各种地图，直接为科学研究和生产建设服务。

二、昼夜交替

地球本身是个不透明的球体，向阳的一面形成白昼，背阳的一面形成黑夜。由于地球的自转，向阳面与背阳面不断交替着，这就是昼夜交替的现象。昼夜交替首先引起的就是气温的日变化。又因为地球自转周期不是太长，也不是很短，这样使白天的增温和夜晚的冷却都能达到一定程度。这有利于自然界，特别是生物界的生长发育过程的进行，使得自然界生机勃勃繁荣昌盛。同时许多自然现象和过程都具有日变化的特性，它是自然界基本规律之一。如果地球自转周期太长，增温与冷却就会过于剧烈；若自转周期很短，增温与冷却又会十分缓和。地球的面貌就会和现今大不一样，或许还是一个无生命的世界，而类似于金星或火星。所以，地球自转所造成的地球表面昼夜交替现象，是影响自然地理环境的形成和变化最重要的最基本的因素之一。

三、水平运动的偏向

在地球表面的大气、海水、河水等物质，总是在不停顿地运动着。但是这些物质的运动，是在自转的地球表面上的运动，受地球自转的影响，使这些物质的运动发生偏向现象。需要指出，大气、海水、河水等物质的运动，都是指水平运动而言，所以是水平运动的偏向。

产生水平运动的偏向原理，同佛科摆偏转原理类似。依惯性原理，作水平运动的物体按初始运动方向运动，不发生改变，但是它的运动“场地”是转动的，随着地球自转“场地”的方向随时改变。处在场地上的观察者与场地保持相对静止状态，所以

察觉不到“场地”方向的变化，反而看到水平运动的物体偏离了场地上初始运动方向。

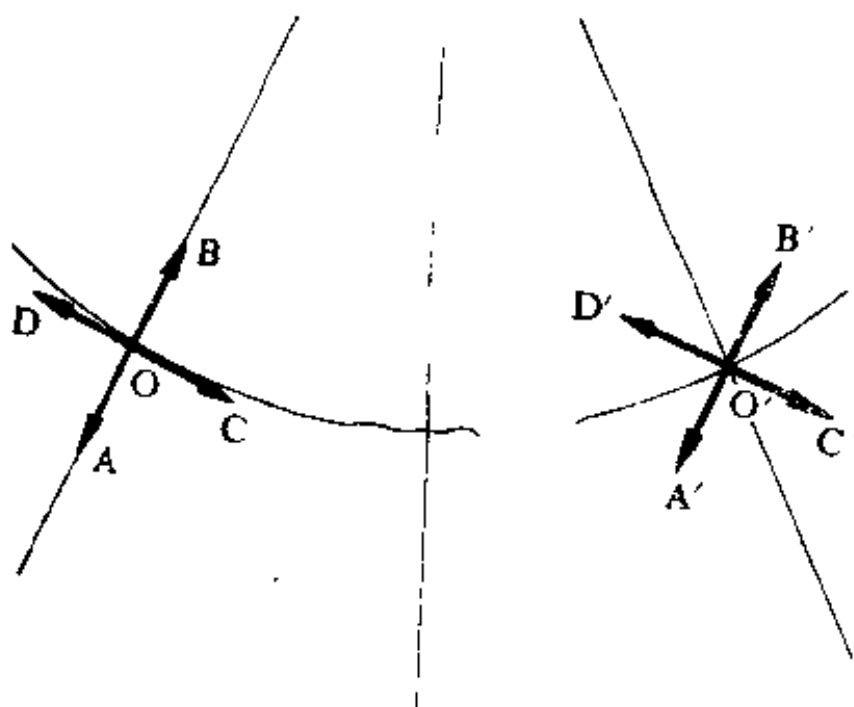


图2-5 在北半球水平运动的偏向

现以北半球为例加以说明。图2-5中，物体由O出发沿经线向南(A)运动，在运动过程中地球自转，O到O'，物体仍维持初始方向，即 $O'A' // OA$ ，但对O'位置来说A'方向偏离经线右侧(按运动方向而言)，即不是向南运动而是向西南运动了。同样道理，由O点向北(B)，向东(C)、向西(D)运动，由于地球自转，分别到达B'、C'、D'，也都是偏离初始方向的右侧。所以，在北半球作水平运动的物体发生右偏现象。

在南半球情况相反，作水平运动的物体发生左偏现象。

在赤道上无偏向现象，只要离开赤道，随纬度的增高，偏向现象越加明显，到极地最显著。

按力学原理，运动物体发生偏向，必定是外力作用的结果，作用在作水平运动的单位质量物体上，使其发生偏向的力，称为地转偏向力。实际上，地转偏向力是不存在的，它是个虚力，这让人们在转动的地理坐标系内，依力学原理研究水平运动偏向

而虚构的一种力。首先是法国数学家科里奥利对地转偏向力进行研究的，所以地转偏向力也称科里奥利力，简称科氏力。

在自然地理环境中地转偏向力的作用实例是很多的。在地球表面高低纬之间，海陆之间由于大气受热不等，大气密度不均，因此经常进行着不同纬度之间、不同地区之间的气体交换，大气在水平运动过程中，都要受到地转偏向力的影响。在地球表面，低纬地带盛行信风，中纬地带盛行西风，极地附近盛行东风，在海陆对比显著的地区盛行季风等大气运动现象，都是在地转偏向力的参与下形成的。在辽阔的海洋上，广泛分布着定向流动的洋流，它的流向也受着地转偏向力的影响。大陆上的河流，在北半球右岸冲刷显著，在南半球左岸冲刷明显，也都是地转偏向力作用的结果。

第三节 地球的公转

一、天球坐标

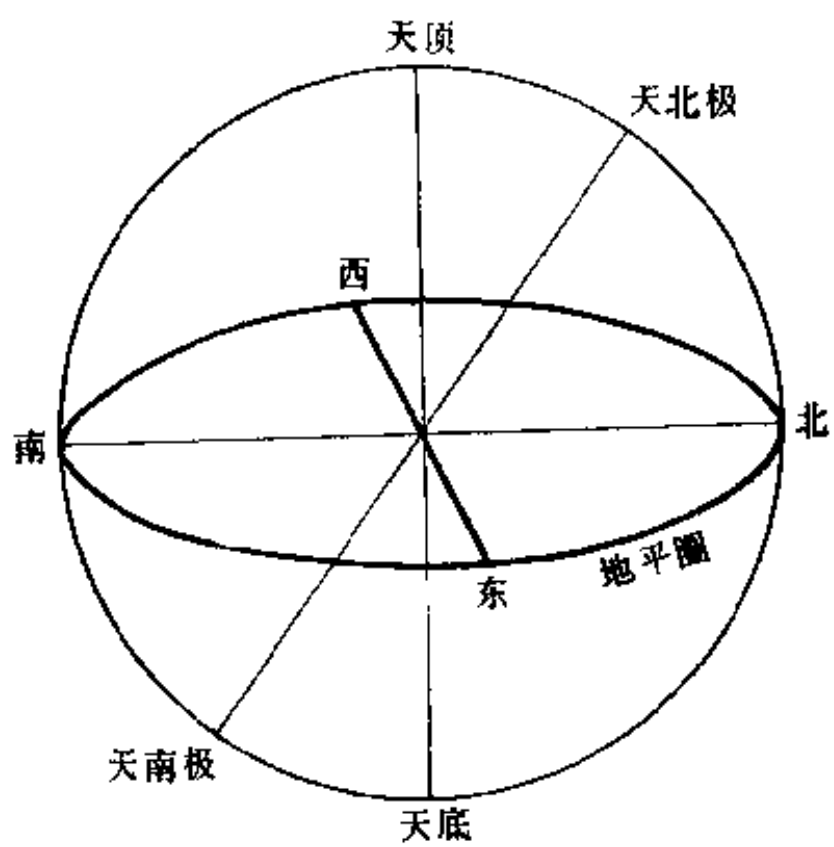
为了研究天体的运动，反映天体在天球上的位置变化，通常引用天球坐标。根据不同的用途，经常采用不同的天球坐标系，不同的天球坐标系其组成要素各有不同。经常采用的天球坐标系有：地平坐标、赤道坐标和黄道坐标。

各坐标系都是在各自的基本圈和基本点的基础上建立起来的坐标系。因此，基本圈和基本点的确定，是建立坐标系最重要的内容，它决定着该坐标系最主要的特征。

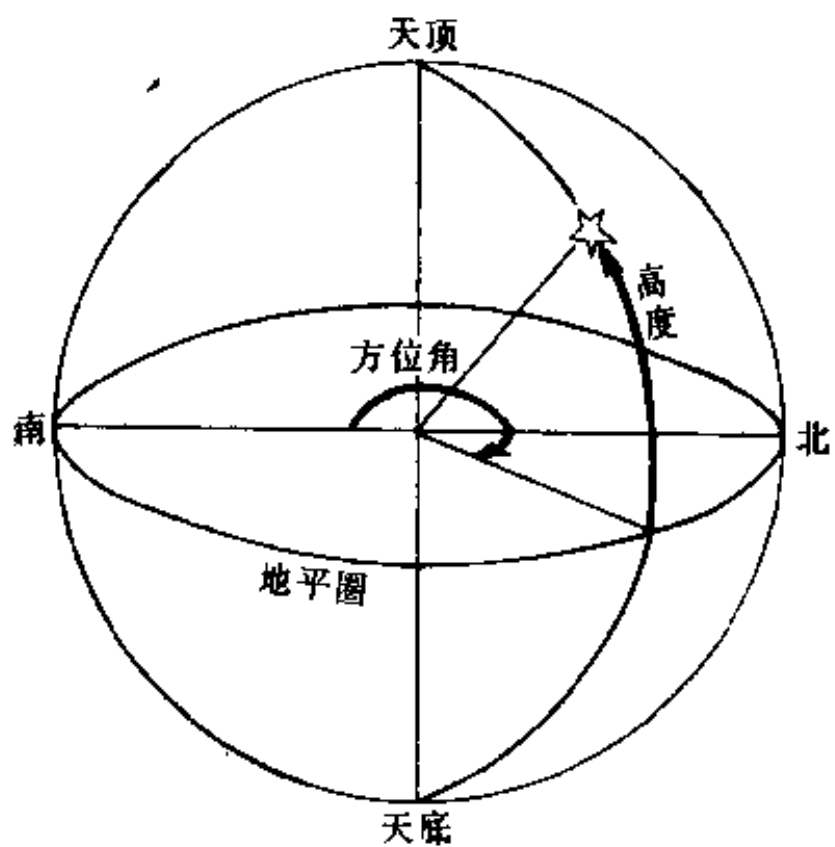
1. 地平坐标

基本圈是地平圈；基本点是天顶和天底。

地平圈就是观察者所在的地平面无限伸展与天球相交的大圆。从观察者所在的点，作垂直于地平面的直线并无限延长，在地平面以上与天球相交的点，称为天顶；在地平面以下与天球相



a



b

图2-6 地平坐标系

交的点，称为天底。在天球上天顶和天底与地平圈的角距为 90° （图2-6）。

通过天顶和天底可以作无数个与地平圈相垂直的大圆，称为地平经圈。在天球上也可以作无数个与地平圈平行的小圆，称为地平纬圈。地平经圈和地平纬圈是构成地平坐标系的基本要素。

通过地平经圈可以确定地平经度（也叫方位角）；通过地平纬圈可以确定地平纬度（也叫地平高度，简称高度）。为了计量它们的大小，首先确定它们的起算点，然后再决定它们的计量方法。

如前所述，地球的地轴无限延伸即为天轴，天轴与天球相交，与地球北极对应的那个点叫天北极；与地球南极对应的那个点叫天南极。通过天顶与天北极和天南极的地平经圈与地平圈相交两点，靠近天北极的那个点即为北点，靠近天南极的那个点即为南点。面向北点左 90° 为西点，右 90° 为东点，这就是地平圈上四方点的确定。地平经度（方位角）在地平圈上量算，南点（S）为起算点（ 0° ），由南点开始按顺时方向计量方位角的大小。其值由 0° — 360° ，西点为 90° ，北点为 180° ，东点为 270° 。以上是在天文上量算方位角的方法。在大地测量上，方位角是从北点（N）起算的，按顺时针方向， 0° — 360° 。

地平纬度（高度）在地平经圈上量算，地平圈起算，到天顶为 0° — $+90^\circ$ ，到天底为 0° — -90° 。

天体的地平坐标值（方位角和高度值）可以用经纬仪直接测出。

地平坐标中的基本圈——地平圈和基本点——天顶、天底，随地点不同而异，随地球自转即时间不同也有变化。所以地平坐标值因地因时而不同。

图2-7为观测者在北极的地平坐标。地平圈与天轴垂直，天顶与天北极重合，天底与天南极重合。

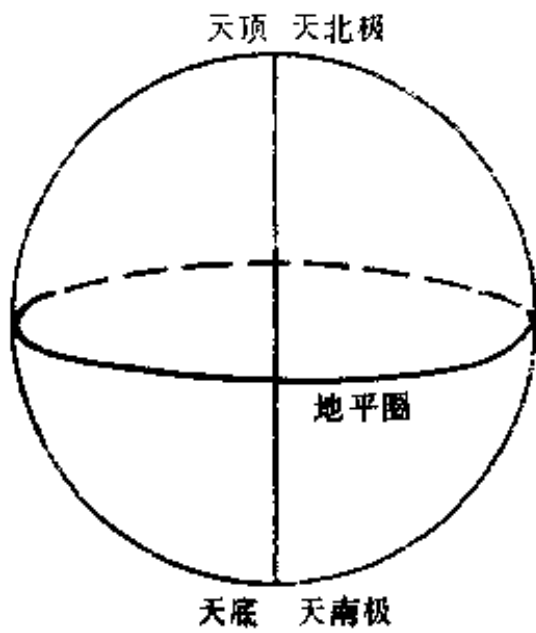


图2-7 北极的地平坐标系

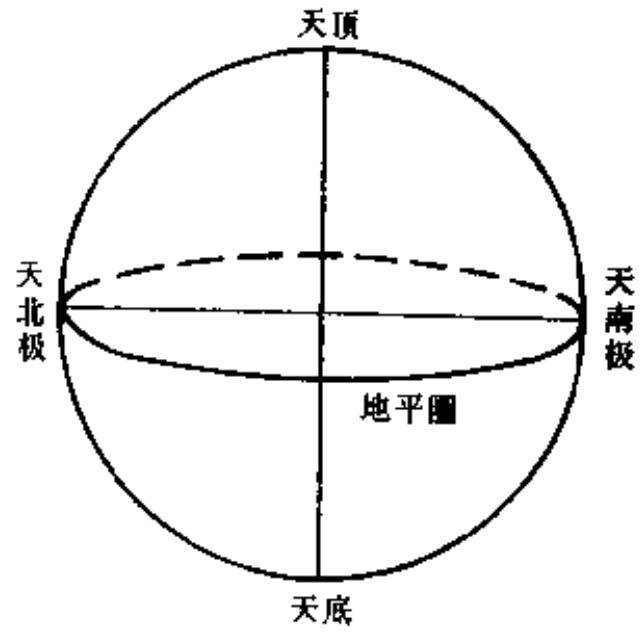
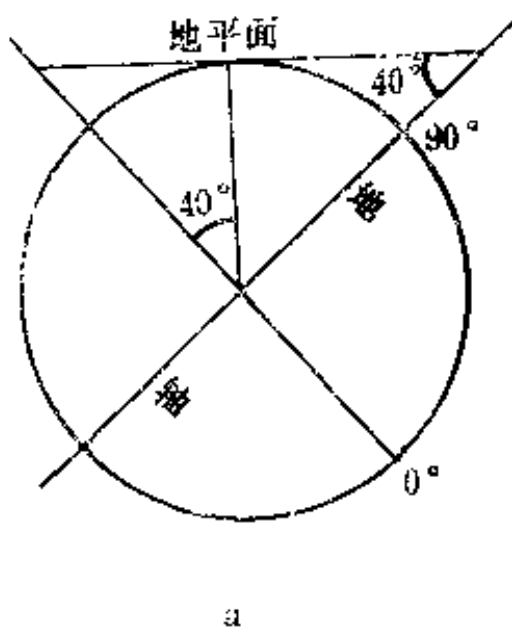
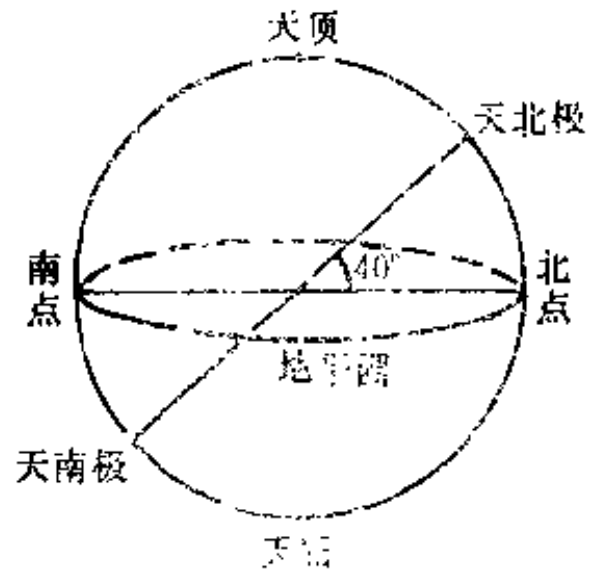


图2-8 赤道的地平坐标系

图2-8为观测者在赤道的地平坐标。地平圈与天轴方向一致，天北极和天南极与天顶、天底垂直，也就是天北极和天南极在地平圈上，即北点和南点。



a



b

图2-9 北纬40°的地平坐标系

图2-9为观测者在北纬40°的地平坐标。北纬40°的地平圈与天轴的夹角应为40°，这是因为北纬40°的地平面与地轴的交角为

40°。所以天北极的高度即为40°，也就是天北极（北极星）的高度等于当地的地理纬度。依此原理，我们测定北极星的高度，就可以确定当地的地理纬度。

2. 赤道坐标系

赤道坐标系的基本圈是天赤道，基本点是天北极和天南极。

地球赤道面无限扩展与天球相交所得的大圆，叫做天赤道。平行天赤道可以在天球上作无数小圆，称为赤纬圈。赤纬的量算方法是：天赤道为0°，天赤道到天北极为0°—+90°，天赤道到天南极为0°—-90°。

通过天北极和天南极，可以作无数垂直于天赤道的大圆，称为赤经圈。由于赤经的量算方法不同，又可把赤道坐标系分为两种：第一赤道坐标系和第二赤道坐标系。应明确指出：第一赤道坐标系和第二赤道坐标系赤纬的量算方法是相同的，只是赤经的量算方法不同。现仅就赤经的量算方法分别说明第一赤道坐标系和第二赤道坐标系的差别。

第一赤道坐标系又称时角坐标系。

通过天极有无数赤经圈（又称时圈），其中通过地平圈南、北点的赤经圈，叫子午圈。子午圈又可分为两个半圆，过南点的半圆，叫午圈，过北点的半圆，叫子圈。午圈与天赤道的交点（图2-10中Q点），即为时角坐标系中赤经（时角）的起算点，在天赤道上按顺时针方向量算，0°—360°。

时角的大小也可以用小时来量度，0—24小时，每小时对应15°。

第二赤道坐标系赤经的起算点是春分点。

地球绕太阳公转的轨道平面无限伸展与天球相交所得的大圆，称为黄道。黄道与天赤道呈23°26′的夹角，称黄赤交角。从图(2-11)中可知：黄道与天赤道有两个交点，按地球公转的方向，即逆时针方向，由天赤道之南穿越到天赤道以北的交点，称为春

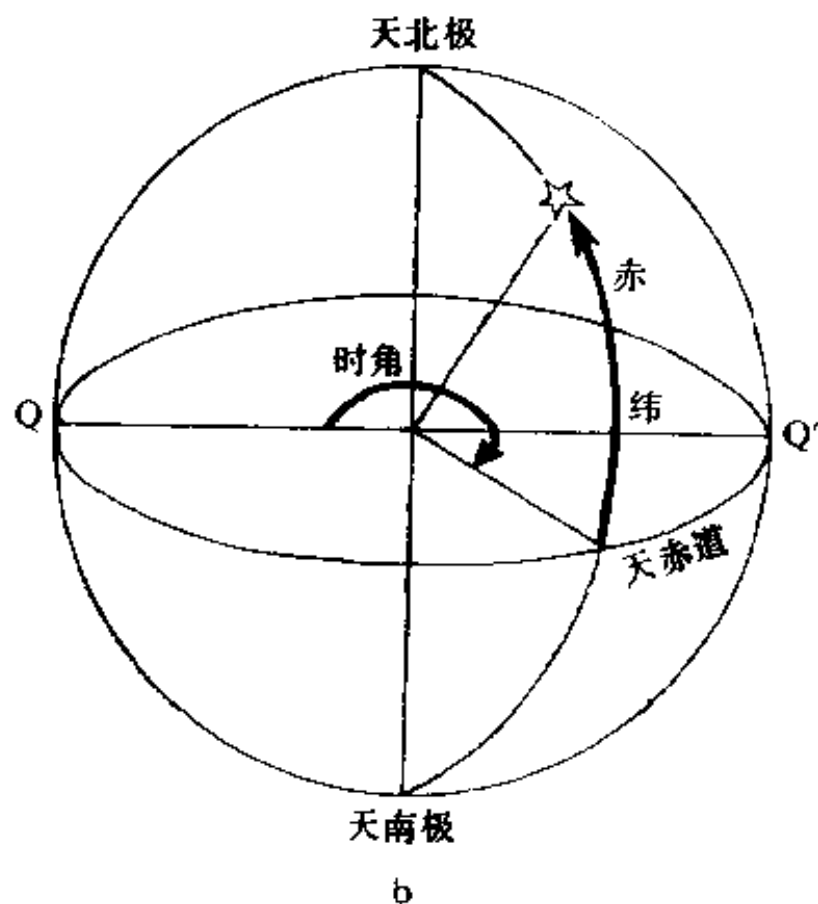
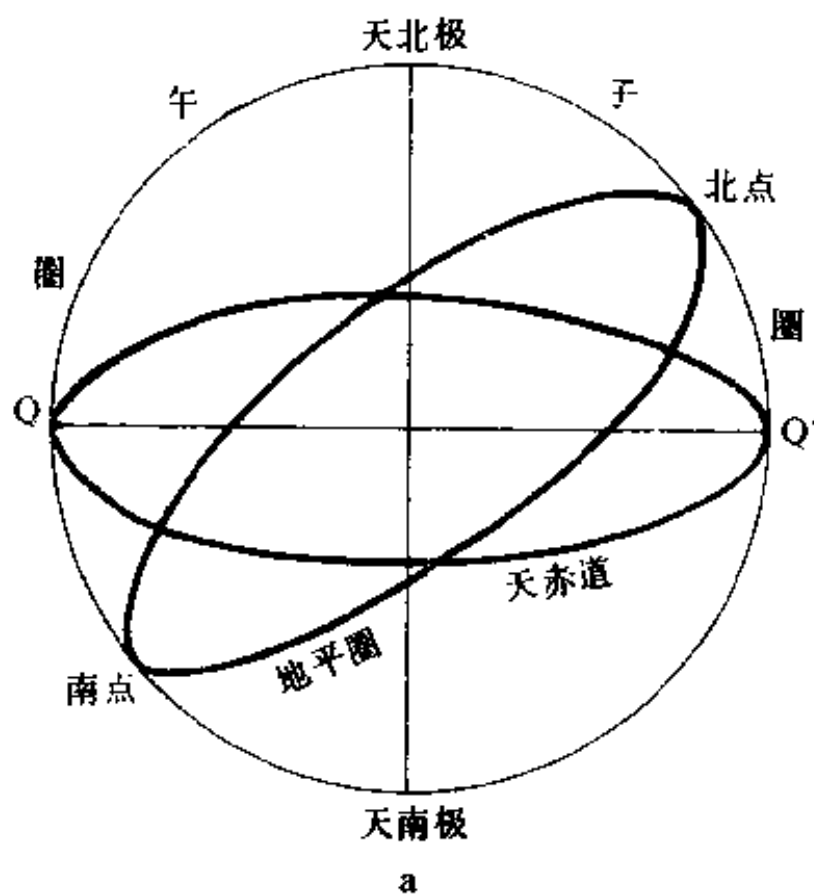


图2-10 时角坐标系

分点，由天赤道以北穿越到天赤道以南的交点为秋分点。

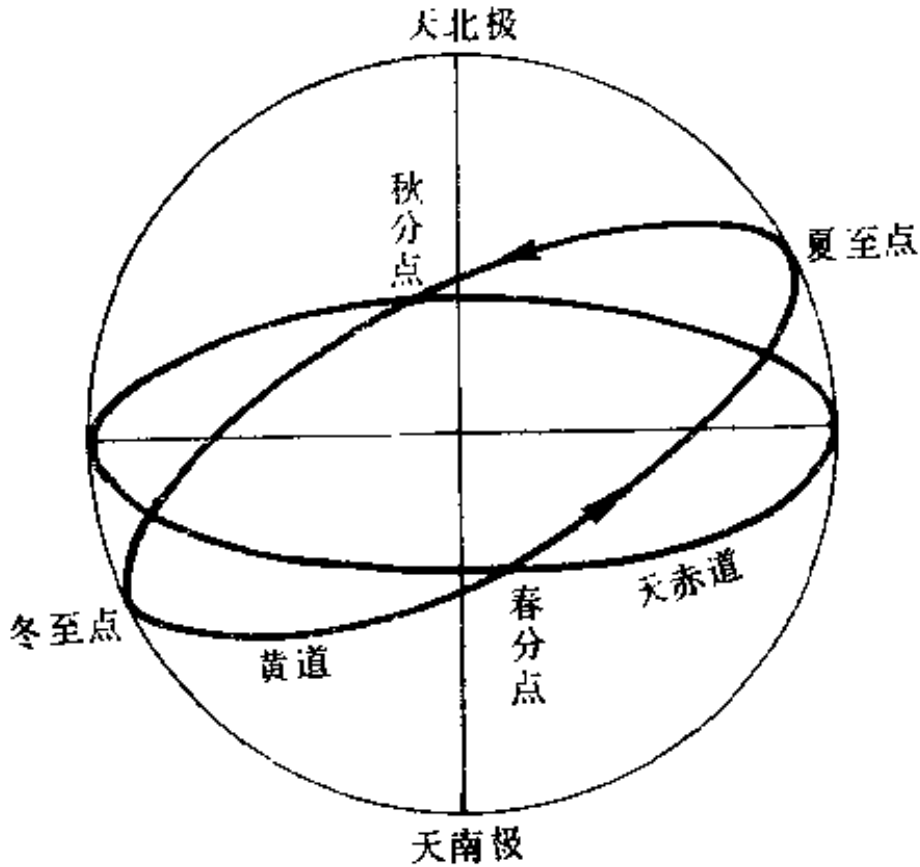


图2-11 二分二至点

在天赤道上，由春分点起算，按逆时针方向量算， 0° — 360° ，即为第二赤道坐标系的赤经（图2-12）。

第一赤道坐标系和第二赤道坐标系中赤纬的量算方法是相同的，天赤道为 0° ，天北极为 $+90^{\circ}$ ，天南极为 -90° ，它不因地因时而改变。而在时角坐标系中，时角是以午圈与天赤道的交点为起算点，午圈是因地而异的，所以时角因地而变。就同一观测点而言，由于地球的自转，天体的时角也是逆地球自转方向，即自东向西匀速变化的，所以时角也随时间而改变。据此特点时角坐标系常用于测定时间。

在第二赤道坐标系中，赤经是以春分点为起算点，春分点是不因地因时而改变的，所以赤经不因地因时而异，天体的赤经不变。据此特点，第二赤道坐标系常用于编制各种星表、星图。例

如：天狼星的赤纬为 $-16^{\circ}38'$ ，赤经为 $100^{\circ}45'$ 。下面将要研究的地球公转问题，经常涉及到太阳与地球之间的相对位置问题，也都采用第二赤道坐标系。

8. 黄道坐标系
基本圈是黄道，基本点是北黄极、南黄极。黄极是通过观测点（坐标中心）作垂直于黄道面的直线

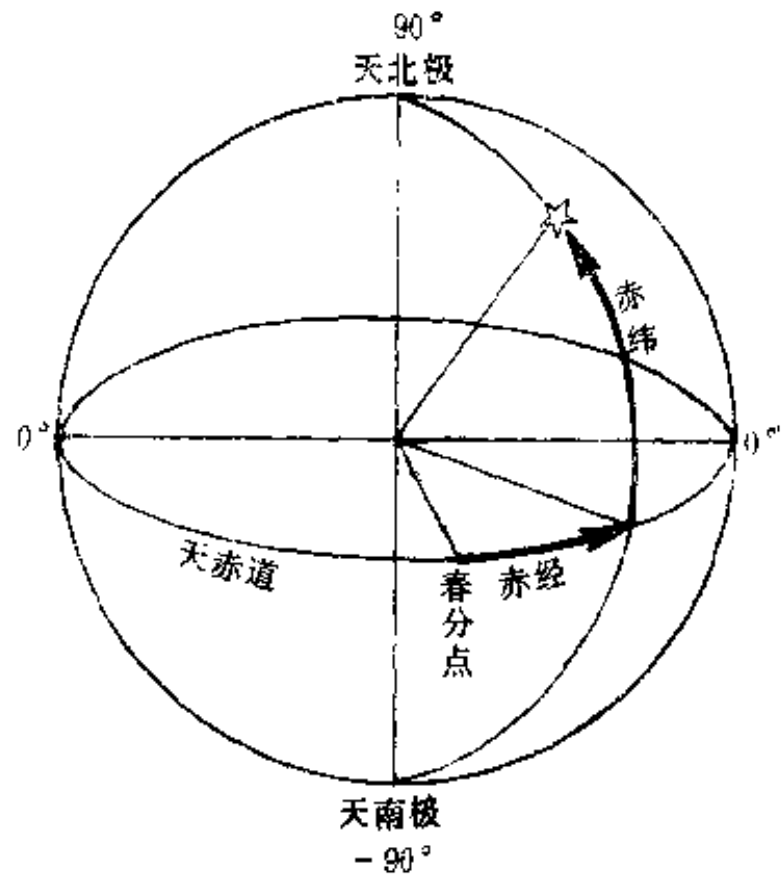


图2-12 天球第二坐标系

与天球相交的两个点，距天北极近的叫黄北极，距天南极近的叫黄南极（图2-13）。

平行于黄道在天球上可作无数小圆，即黄纬圈。黄纬以黄道为 0° ，到黄北极为 $+90^{\circ}$ ，到黄南极为 -90° 。通过黄极可作无数个与黄道直交的大圆，即黄经圈。黄经以春分点为起算点，在黄道上按逆时针方向量算， $0^{\circ}-360^{\circ}$ 。黄纬和黄经不因地因时而改变。黄道坐标系常用于表示太阳系内天体的位置。

现将几种天球坐标系归纳成表2-1，以便对比，利于记忆。

二、地球公转的基本特性

1. 地球公转的轨道和方向

通常人们对地球公转的理解是地球绕太阳的运动，实际上或严格地讲，地球和太阳都是围绕着它们的公共质量中心转动的，太阳的质量为地球的33万倍，它们的公共质量中心离太阳中心仅450公里，与约为70万公里的太阳半径相比，所占无几，所以把地

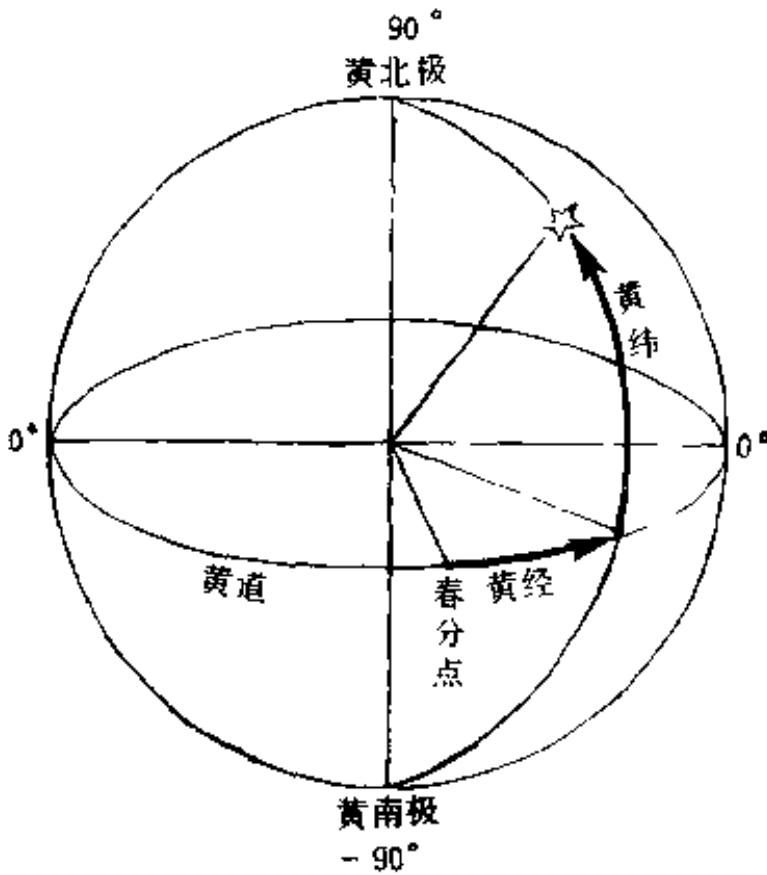


图2-13 黄道坐标系

球公转看成地球绕太阳（中心）的运动，是十分接近实际的。

地球公转的轨道是个接近正圆的椭圆，太阳位于一个焦点上。随着地球公转，日地距离不断变化着，每年1月初过近日点，日地距为14710万公里，7月初过远日点，日地距为15210万公里，日地平均距离14960万

公里，即为一个天文单位。

地球公转的方向与自转方向一致，从黄北极看，是按逆时针方向公转，即自西向东。

地球自转与公转是同时进行的，自转轴（即地轴）与公转轨道平面，不是垂直的，而是呈 $66^{\circ}34'$ 的倾角。地球无论公转到什么位置，这个倾角保持不变。所以我们所见到的地球仪自转轴都是倾斜的，它与桌面（代表公转轨道平面）呈 $66^{\circ}34'$ 的倾斜。因为地轴相对于公转轨道面的倾斜，所以赤道面与轨道面也是斜交的，其夹角应为 $23^{\circ}26'$ ，在天球上表现为天赤道与黄道的夹角，即黄赤交角。

2. 地球公转的周期

地球绕太阳公转一圈所需的时间，为公转周期，其值为一年。

确定地球公转周期时，通常把地球作为坐标系的中心（是不

表2-1 天球坐标对照表

坐标名称	基本圈	基本点	坐标要素	起算点(圈)	换算方法	特点
地平坐标	地平圈	天顶 天底	高度 方位角	地平圈 南点(或北点)	天顶 $+90^\circ$ 天底 -90° 顺时针 $0-360^\circ$	因地 时而变
时角坐标	天赤道	天北极 天南极	赤纬 时角	天赤道 午圈与天 赤道的交点	天北极 $+90^\circ$,天南极 -90° 顺时针 $0-360^\circ$ $0-24$ 小时	不变 因地 时而变
第二赤道坐标	天赤道	天北极 天南极	赤纬 赤经	天赤道 春分点	天北极 $+90^\circ$, 天南极 -90° 逆时针 $0-360^\circ$	不变
黄道坐标	黄道	黄北极 黄南极	黄纬 黄经	黄道 春分点	黄北极 $+90^\circ$ 黄南极 -90° 逆时针 $0-360^\circ$	不变

动的)，而以视太阳在黄道上公转一圈为标准。由于选取的参考点不同，所以又有不同的周期。经常使用的有恒星年和回归年。

恒星年是**视**太阳连续两次通过地球与某一恒星的连线的~~时间~~间隔。它是**以不动的恒星为参考点的**，所以它是**视太阳**，实际上是地球公转 360° 的时间长度，其值为365.2564日，它是地球公转的真正周期。

回归年是以春分点为参考点的。视太阳在天球上连续两次通过春分点的时间间隔，为一回归年。其值为365.2422日。由于春分点在黄道上每年西移 $50''.29$ ，而视太阳是自西向东运行的，所以视太阳连续两次过春分点所走的角度应为 $360^\circ - 50''.29 = 359^\circ 59' 9''.71$ ，这也就是一回归年地球公转的角度，因此，回归年比恒星年短，每年短20分24秒，在天文学上称为岁差现象。

为什么春分点每年西移 $50''.29$ 呢？这是地轴进动的结果。

如前所述，地轴与公转轨道平面呈 $66^\circ 34'$ 的倾斜，由于惯性作用，地球始终保持着这个角度在公转轨道上自转着。地球本身是个椭球体，赤道部分凸出，赤道面与公转轨道面不是重合的，而呈斜交状态（即存在黄赤交角）。正是因为这个“斜交状态”，使得月球、太阳对地球的引力，主要是对赤道凸出部分的引力是不平衡的，这个不平衡的力，力图使赤道面与公转轨道面相重合，达到平衡状态。但是，地球自转的惯性作用，使其维持这种斜交状态。于是地球在月球、太阳引力不平衡作用下产生了摆动，这种摆动表现为地轴绕黄轴以 $23^\circ 26'$ 的夹角按自东向西方向的绕动，地轴的这种运动称为地轴的进动（图2-14）。地轴进动的方向是自东向西的，从黄北极看是顺时针方向，和地球公转方向相反。进动的速度是每年 $50''.29$ ，进动的周期是25800年。

由于地轴的进动，造成天赤道相应的变化，那么天赤道与黄道的交点——春分点和秋分点也就相应地每年西移 $50''.29$ ，春分点（或秋分点）西移的周期也就是25800年，即春分点在黄道上移

行一圈需要25800年。

地轴的进动首先造成了春分点的西移，使回归年短于恒星年。其次，由于地轴的进动，使天极以25800年为周期绕黄极运动。所以天北极和天南极在天球上的位置也是在缓慢地移动着。目前天北极的方向指向小熊星座 α 星，即现在的北极星。到公元7000年天北极就指向仙王座 α 星了，即仙王座 α 星成为北极星。到公元14000年织女星将成为北极星（图2-15）。

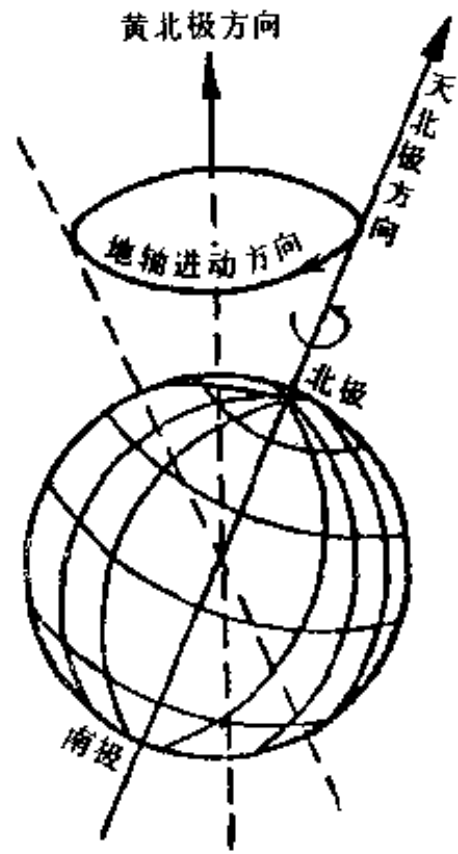


图2-14 地轴的进动

再次，由于地轴进动造成天极、春分点的移动，以其为依据而建立的天球坐标系也必然相应改变。对赤道坐标系来说，恒星的赤经和赤纬要发生变化；对黄道坐标系来说，

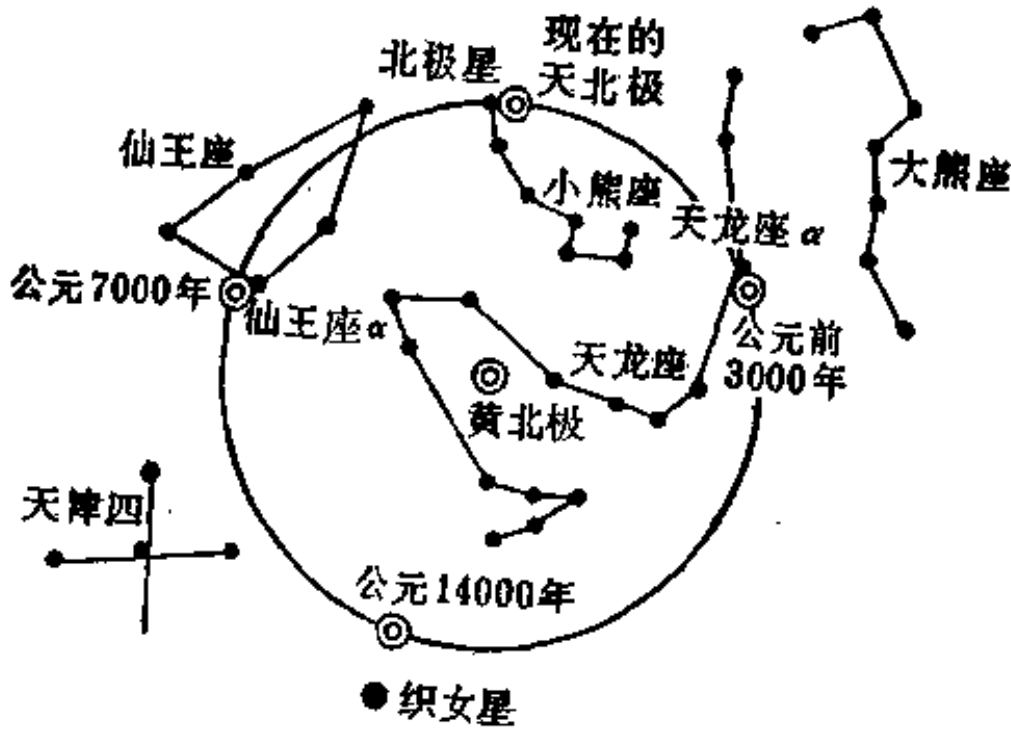


图2-15 天北极的移动

恒星的黄经要发生改变。

3. 地球公转的速度

依开普勒行星运动第二定律可知，地球公转速度与太阳的距离有关。地球在近日点时公转速度快，角速度为 $1^{\circ}1'11''$ /日，线速度为30.3公里/秒。地球在远日点时公转速度慢，角速度为 $57'11''$ /日，线速度为29.3公里/秒。其平均值，角速度为 $59'8''$ /日；线速度为29.8公里/秒。我们知道，春分点和秋分点对黄道是等分的，由于公转速度的变化，则走过相等距离的时间必然不等长。视太阳由春分点经夏至点到秋分点，需186天多，此时是北半球的夏半年；视太阳由秋分点经冬至点到春分点，需179天，此时是北半球的冬半年。由此可知，地球公转速度的变化，是造成地球上四季不等长的根本原因。

三、地球公转的证据

通过太阳和恒星每日的东升西落的视运动，可以证明地球的自转运动。同样道理，通过太阳和恒星以一年为周期的在天球上位置的变化，可以证明地球的公转运动。

我们逐日观测太阳出没的方位角和正午的太阳高度，冬夏差异很大，年复一年地有规律地变化，为什么有这种周期性的变化呢？这只能说明地球和太阳相对位置的变化，而太阳是颗恒星，在短期内相对位置不变，那么只能是地球绕日运动的结果。

每当夜幕降临的时候，观察天空的星座，一年四季不断改变。在北半球中纬地区，夏秋之夜，天琴、天鹰、天鹅、武仙、北冕、牧夫等星座布阵当空，牛郎、织女星隔“河”相望；冬春之夜星空形势大为改观，狮子、双子、大犬、猎户、金牛、白羊等星座装点夜空，最明亮的天狼星闪烁发光。为什么季节交替，星空形势大不一样呢？这正是地球在太阳和恒星之间运动的结果，不同季节，地球处于太阳与其他恒星之间的不同位置，则观察到不同的星空形势。在天球上看（如图2-16），地球公转处

于A、B、C、D,相应的视太阳位置分别在a、b、c、d,也就是说,视太阳在恒星之间的位置是不断变化的,但在白昼我们看不到太阳背景星空的改变,而在夜晚却看到相反方向星空的变化,即地球在A看到c附近星空,在B看到d附近星空,在C看到a附近星空,在D看到b附近星空。这就是由于地球公转所造成的随季节交替星空有规律演变的原因。

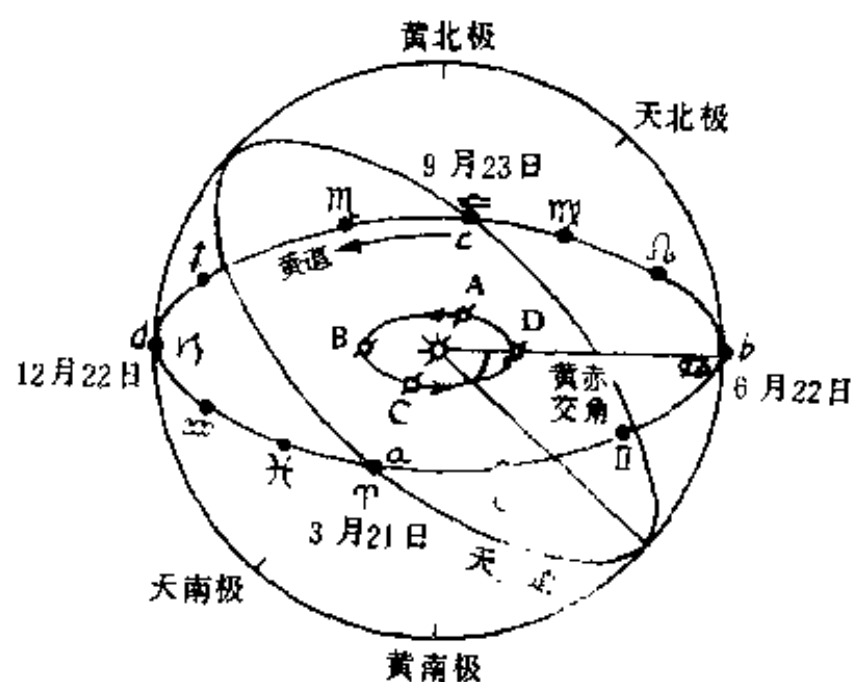


图2-16 视太阳的周年运动和黄道十二宫

通常把黄道南北各 8° 范围内的环状带叫黄道带。从春分点开始,将黄道带分为12等份,每一份所占的范围叫一宫,共十二宫,以其所在的星座命名,在图2-16中以不同符号表示。它们的名称为:白羊宫、金牛宫、双子宫、巨蟹宫、狮子宫、室女宫、天秤宫、天蝎宫、人马宫、摩羯宫、宝瓶宫、双鱼宫。太阳的周年视运动,就是在黄道十二宫中穿行。由于春分点的西移,春分点在十二宫中的位置也在不断变化。目前春分点位于双鱼宫。公元初年,春分点曾在白羊宫内,所以春分点的标记至今仍沿用白羊宫的符号。

第四节 地球公转的地理效应

地球公转是产生地球表面季节交替的根本原因。而季节交替现象在不同的纬度带表现不同，低纬地带常夏无冬，高纬地带常冬无夏，中纬地带四季分明。这种时间上的变化和地带上的差异，在自然地理环境的形成和变化上都打下了深刻的烙印。

地球公转过程中同时也在自转着，也就是说，公转和自转所产生的综合效应对地理环境发生着深刻影响。所以此处讲的地球公转的地理效应不应理解为单纯的地球公转所产生的地理效应。

一、太阳的回归运动

1. 太阳赤纬的周年变化——太阳直射点在地球上的移动

地球在公转轨道上以年为周期的绕日运动，在地球上看起来就是太阳视位置在黄道上周年的变化（图2-17）。由于黄赤交角的存在，太阳视位置的赤纬值也是随时在变化的。太阳视位置在春分点时，赤纬为 0° ，此时太阳在地球上的直射点位于赤道上；太阳按逆时针方向移动，其赤纬值不断增加，当移到赤纬值为 $+23^{\circ}26'$ 时，即达到夏至点，太阳视位置的赤纬值达到最大，此时太阳在地球上的直射点位于北纬 $23^{\circ}26'$ ；此后，太阳继续移行，赤纬值又逐渐减小，当移到秋分点时，太阳赤纬值为 0° ，此时太阳在地球上的直射点又退回到赤道上；太阳继续移行，赤纬值仍继续减小，当移到赤纬值为 $-23^{\circ}26'$ 时，即达到冬至点，太阳视位置的赤纬值达到最小，此时太阳在地球上的直射点位于南纬 $23^{\circ}26'$ ；此后，太阳移行，赤纬逐渐增加，最后回到春分点，赤纬为 0° ，太阳在地球上的直射点又回到赤道上。这样就完成了以一年为周期的运行。年复一年，太阳视位置循环往返于赤纬 $+23^{\circ}26'$ — $-23^{\circ}26'$ 之间，这就称为太阳的回归运动。

概括起来，在赤道坐标系中，太阳的周年视运动，往返于赤

纬 $+23^{\circ}26'$ — $-23^{\circ}26'$ 之间，这种循环往复式的运动，称为太阳的回归运动，其运动周期为回归年。

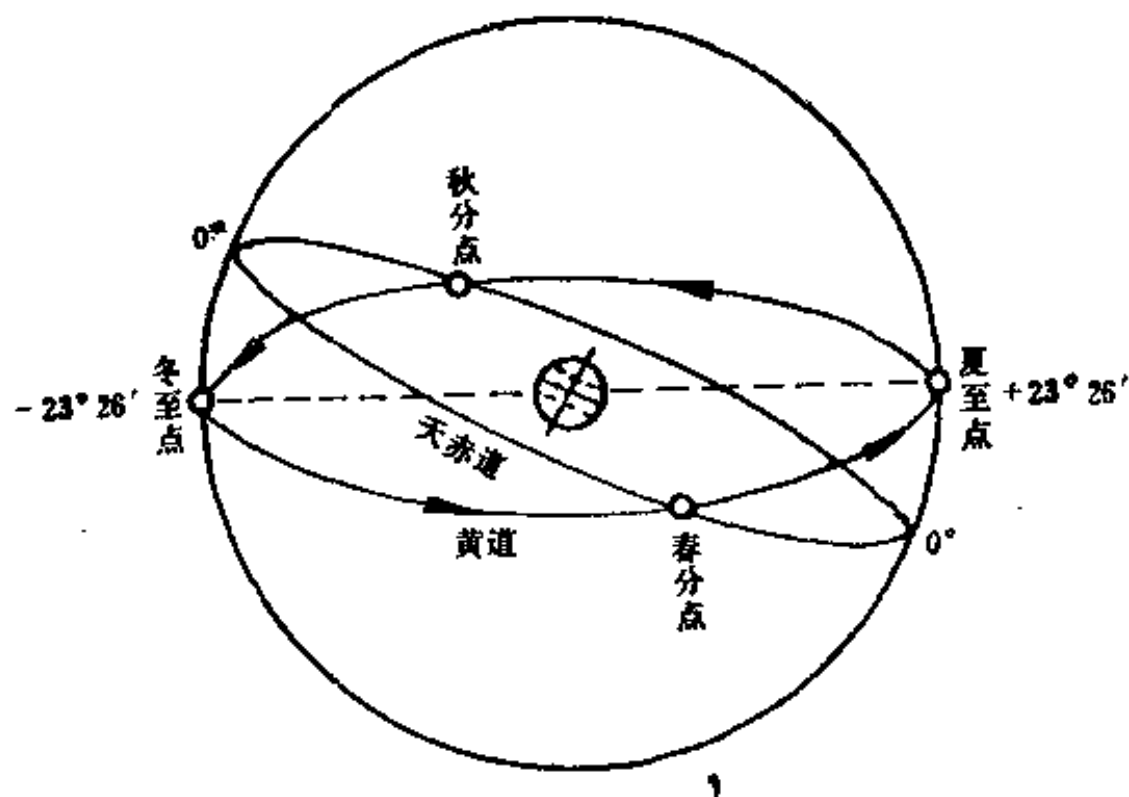


图2-17 太阳周年运动

太阳每年由春分点经夏至点到秋分点，此期间太阳在地球上的直射点位于北半球，移动在纬度 0° — $N23^{\circ}26'$ — 0° 之间，形成北半球的夏半年。太阳由秋分点经冬至点到春分点，此期间太阳在地球上的直射点位于南半球，移动在纬度 0° — $S23^{\circ}26'$ — 0° 之间，形成北半球的冬半年。南半球冬夏季节与北半球相反。

由此可见，地球的公转所导致的太阳的回归运动是形成地球表面季节交替最根本的原因。

2. 回归线和极圈

在太阳的回归运动中，太阳在地球上直射点的最北界是北纬 $23^{\circ}26'$ ，最南界是南纬 $23^{\circ}26'$ 。因此，人们规定：北纬 $23^{\circ}26'$ 为北回归线，南纬 $23^{\circ}26'$ 为南回归线。在南北回归线之间，一年之中有两次太阳直射的机会，在回归线上只有一次直射；在回归线以外中高纬地区，太阳终年斜射，无直射机会。所以回归线也是

有无太阳直射的地区分界线。

当太阳直射北回归线时，北纬 $66^{\circ}34'$ 以北范围内全天可见太阳，出现极昼现象；而在南纬 $66^{\circ}34'$ 以南的地区全天见不到太阳，出现极夜现象；在太阳直射南回归线时，南纬 $66^{\circ}34'$ 以南地区全天可见太阳，出现极昼现象，而在北纬 $66^{\circ}34'$ 以北地区全天见不到太阳，出现极夜现象。因此，南、北纬 $66^{\circ}34'$ 就成为地球上无极昼和极夜现象的分界线，人们规定：北纬 $66^{\circ}34'$ 为北极圈；南纬 $66^{\circ}34'$ 为南极圈（图2-18）。

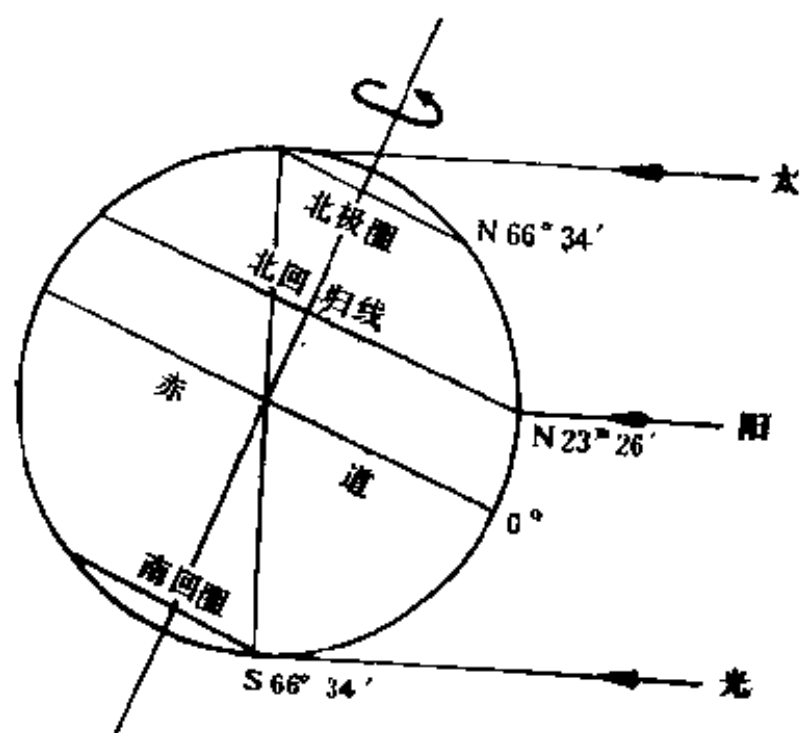
回归线和极圈完全是天文因素所致，它们在地球表面的反映分别是：在一回归年中有太阳直射的范围界限和有极昼（或极夜）的范围界线。而太阳的直射、斜射、见不到太阳等情况，直接决定着地球表面获得太阳能的多少，是形成该地区自然地理环境最基本的因素之一。

3. 太阳周日视运动的变化

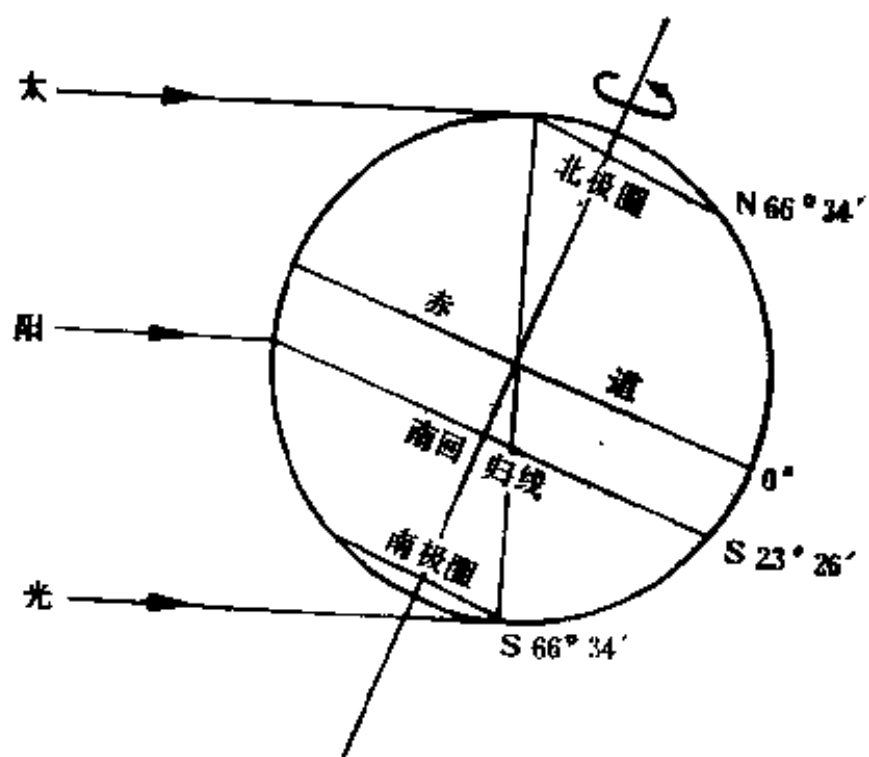
在太阳周年视运动过程中，太阳的赤纬不断地变化，春、秋分时为 0° ，夏至时为 $+23^{\circ}26'$ 冬至时为 $-23^{\circ}26'$ 。由于太阳赤纬的逐日变化，所以太阳的周日视运动也随之改变，不同纬度情况各不相同。在前面“天体的周日视运动”部分中，已经阐明了天体周日视运动的原理，此处仅就太阳周日视运动随日期不同而变化的情况略加说明（参见图2-19）。

春秋分时，太阳赤纬为 0° ，即在天赤道上，天赤道即为太阳周日视运动圈，它相对于赤道的地平圈相垂直，太阳从正东方垂直升起，经过天顶，从正西方垂直落下；对中纬地区来说，天赤道与地平圈斜交，太阳从正东升起，倾斜地经过午圈，从正西方落下；对极地来讲，天赤道与地平圈重合，太阳周日绕地平圈运行。

夏至时，太阳赤纬为 $+23^{\circ}26'$ ， $+23^{\circ}26'$ 的赤纬圈即为太阳周日视运动圈。它相对于赤道的地平圈来说，太阳从东偏北 $23^{\circ}26'$



夏至时



冬至时

图2-18 地球上的回归线和极圈

升起，垂直上升，通过天顶以北 $23^{\circ}26'$ ，从西偏北 $23^{\circ}26'$ 落下。对中纬地区来说， $+23^{\circ}26'$ 赤纬圈与地平圈斜交，太阳从东北方升起，倾斜上升过午圈，从西北方落下；对极地（北极）来讲，太阳则在地平圈以上 $23^{\circ}26'$ 的高度平行地平圈运行。

冬至时，太阳赤纬为 $-23^{\circ}26'$ ， $-23^{\circ}26'$ 的赤纬圈即为太阳周日视运动圈。对赤道来说，太阳在东偏南 $23^{\circ}26'$ 垂直上升，最后西偏南 $23^{\circ}26'$ 垂直下落；对中纬地区来说，太阳从东南方升起，在西南方落下；对极地（北极）来讲，太阳则在地平圈以下 $23^{\circ}26'$ 平行地平圈运行。

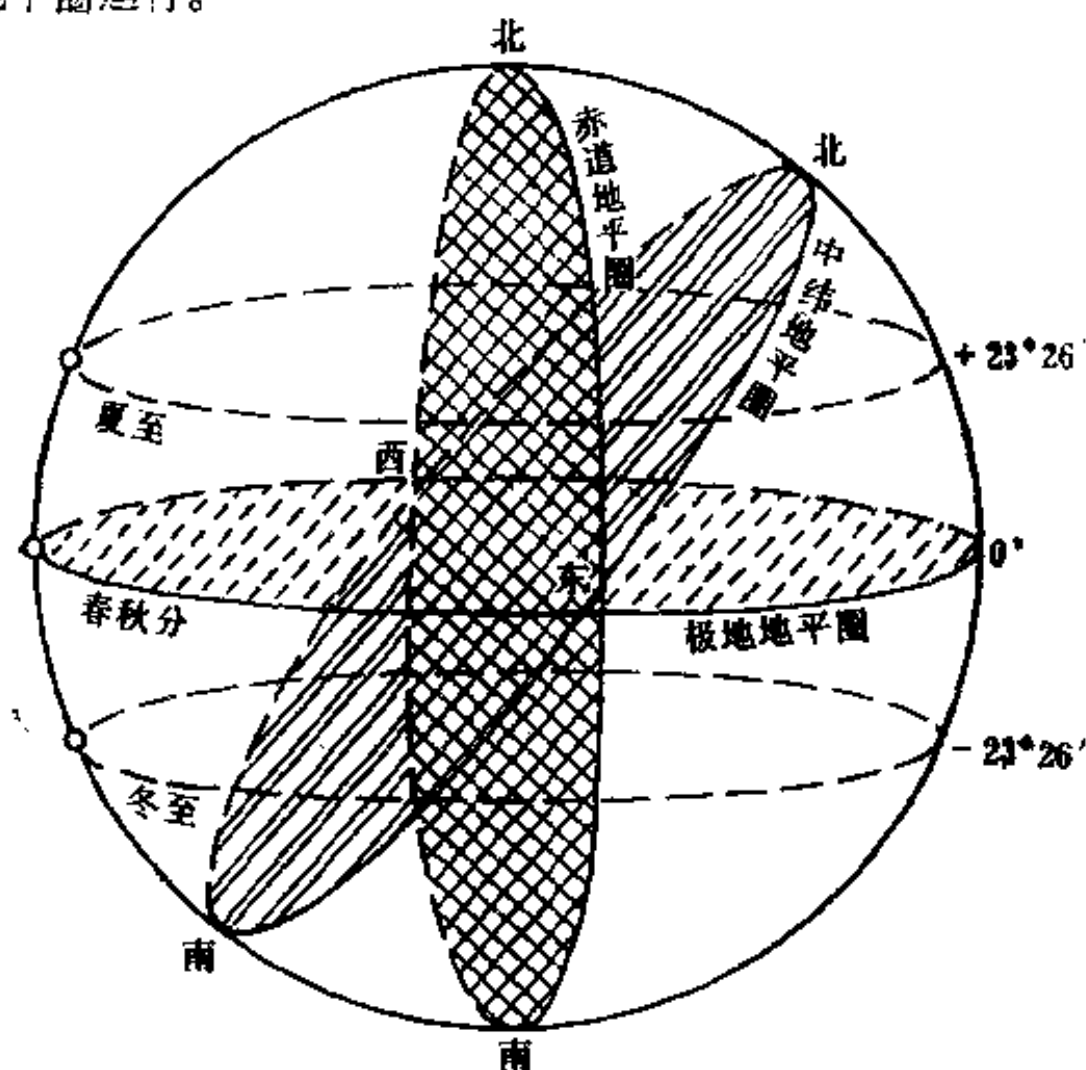


图2-19 赤道、中纬、极地的太阳周日视运动

二、季节的形成

一年之中夏暑冬寒，春风吹暖，秋雨降寒，季节交替明显地

表现出气温的变化。气温变化取决于地球表面接受太阳热量的多少。而决定地球表面接受太阳热量多少的因素主要有三方面：一是日照时间的长短；二是太阳高度的大小；三是日地距离的变化。三者综合作用的结果决定了地球表面吸收太阳热量的多寡。地表接受了热量，再以辐射的形式输送给大气，影响着气温的变化。

1. 昼夜长短

昼夜交替是地球自转的结果，而昼夜长短的变化又是地球公转所致。由于地球自转轴——地轴与公转轨道面呈 $66^{\circ}34'$ 的倾斜，地球在公转过程中，太阳直射点往返于南北纬 $23^{\circ}26'$ 之间，这就必然导致地球上各纬度昼夜长短随季节而改变。如果地轴与公转轨道面是垂直的，那末太阳直射点永远位于赤道上，则全球昼夜总是等分的，无昼夜长短的变化。所以地轴与公转轨道面呈 $66^{\circ}34'$ 的倾斜（或者说，黄赤交角的存在）是产生昼夜长短变化的关键。

为了便于解释昼夜长短的变化先介绍几个基本概念：

晨昏线 地球是个不透明的球体，阳光照射的半球为昼半球，背阴的半球为夜半球，昼半球和夜半球的分界线，叫晨昏线。由于地球的自转，通过晨昏线的地方，就是该地一天的早晨和黄昏（图2-20。）

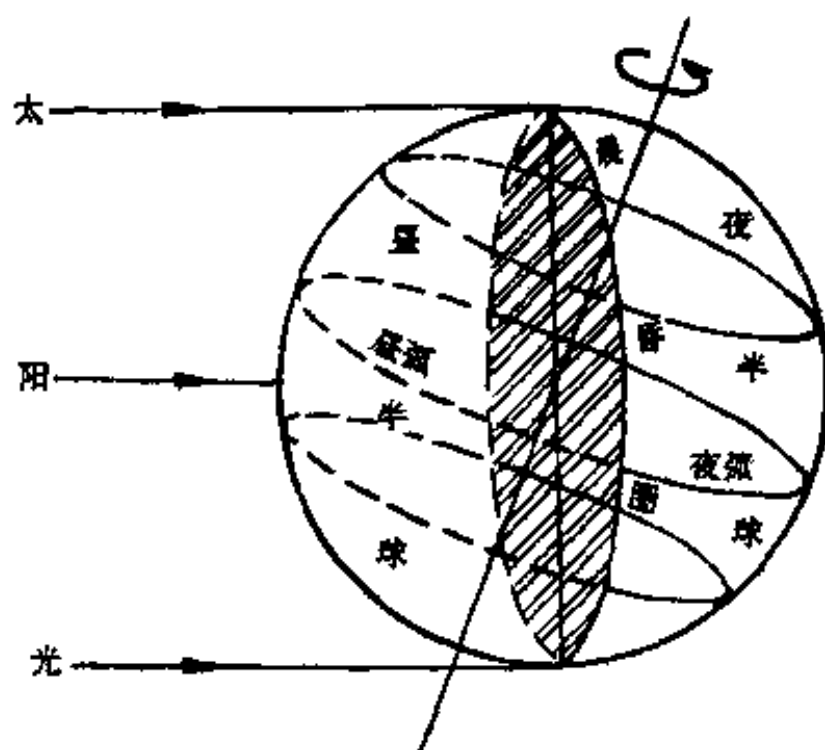


图2-20 晨昏线

从理论上讲，晨昏线是平分地球为昼半球和夜半球的大圆。事实上并非如此，由于地球大气的折光作用，能使地平面以下 $34'$ 的光线折射到地平面上来。另外，太阳的视半径为 $16'$ ，当太阳中心在地平面以下 $16'$ 时，我们便可看见太阳了。因为上述两个原因，昼半球扩展了 $50'$ ($34' + 16'$)，夜半球缩小了 $50'$ 。在本文的讨论中，对大气折光和太阳视半径忽略不计，晨昏线仍按昼夜半球等分的大圆来处理。

昼弧和夜弧 晨昏线把地球上的纬圈分成两部分，位于昼半球的部分称为昼弧；位于夜半球的部分称为夜弧。昼弧和夜弧的长度，反映了该纬度所处昼和夜的时间长度。也就是说，昼弧和夜弧的长短，表示着该纬圈地区昼和夜的长短。若昼弧长于夜弧，则昼长夜短；若昼弧短于夜弧，则昼短夜长；若昼弧等于夜弧，则昼夜等长。

每年大约3月21日（春分），太阳视位置在春分点上，太阳在地球上的直射点位于赤道，此时晨昏线通过地球两极，全球各纬圈的昼弧与夜弧等长，则全球各纬度昼夜平分（图2-21上图）。此后，太阳在地球上的直射点北移，北半球的昼弧逐渐增长，夜弧逐渐减短，即昼越来越长于夜，南半球情况相反，昼越来越短于夜。大约到6月22日（夏至），太阳视位置在夏至点上，太阳在地球上直射点位于北纬 $23^{\circ}26'$ （即北回归线上）。此时，晨昏线通过北纬 $66^{\circ}34'$ 和南纬 $66^{\circ}34'$ （即北极圈和南极圈），北半球昼弧达到最长，夜弧减到最短，北极圈以北完全处在昼半球，南半球昼弧减至最短，夜弧增到最长，南极圈以南完全处在夜半球，这时北半球昼最长，夜最短，北极圈范围之内出现极昼现象，极昼的范围达到最大。南半球昼最短，夜最长，南极圈范围之内出现极夜现象，极夜范围达到最大。在赤道上，昼弧等于夜弧，昼夜等长（图2-21中图）。夏至过后，太阳在地球上的直射点南移，北半球昼弧渐短，夜弧渐长，即昼开始变短，夜开

始延长，但昼仍长于夜。在北极圈范围内的极昼范围也逐渐缩小；南半球情况相反，昼渐延长，夜渐缩短，但昼仍短于夜，南极圈范围内极夜范围也逐渐缩小。大约到9月23日（秋分），太阳视位置到达秋分点，太阳直射点又回到了赤道，昼夜状况与春分时相同，全球昼夜平分。此后，太阳视位置移到天赤道以南，北半球开始了昼短夜长，北极附近出现极夜现象；南半球情况相反。大约到12月23日（冬至），太阳视位置在冬至点上，太阳直射南纬 $23^{\circ}26'$ （南回归线），南半球出现昼最长，夜最短，南极圈范围内出现极昼，极昼范围达最大；北半球情况相反。在赤道上仍是昼夜平分（图2-21下图）。冬至过后，太阳直射点位

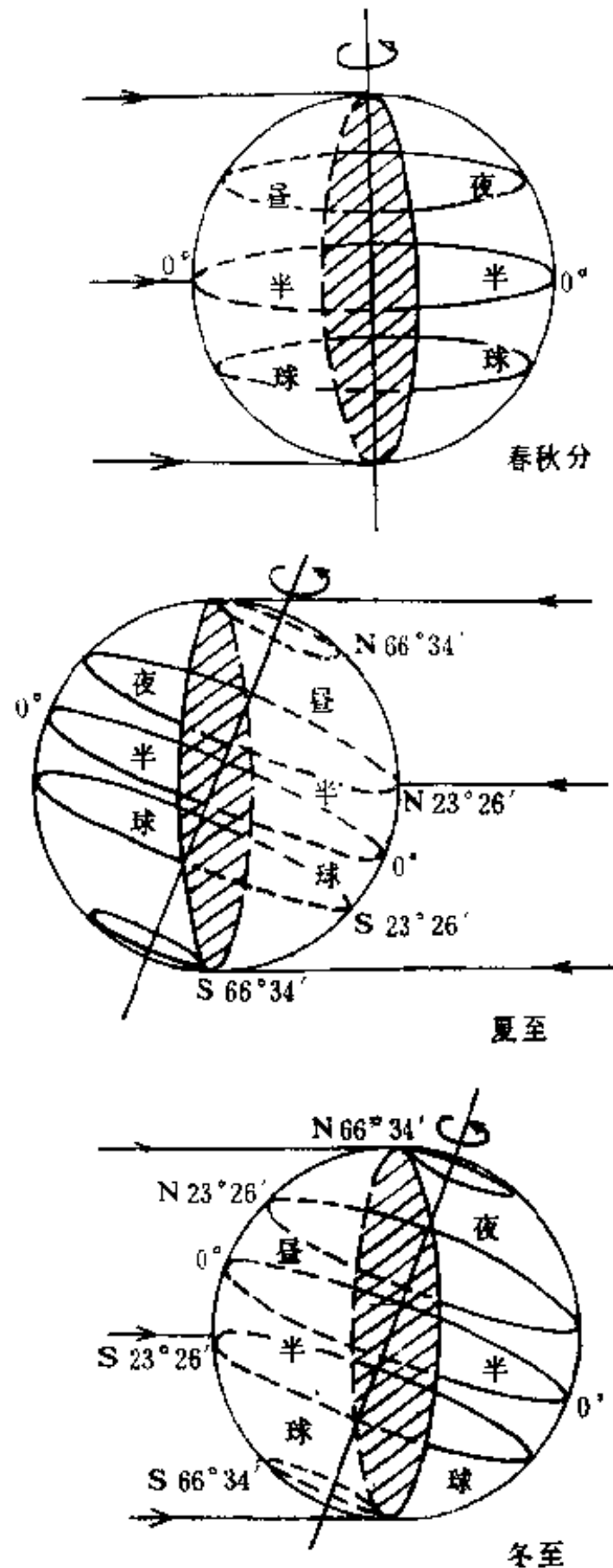


图2-21 昼夜长短的变化

置北移，约到3月21日（春分），直射点又回到了赤道，全球又昼夜平分。如此循环，昼夜长短随季节有规律地变化着。

可以看出，太阳的回归运动是造成昼夜长短变化的决定性因素。昼夜长短的地带分布可概括如下：

在赤道上全年昼夜平分。

在北半球夏半年（春分到秋分）昼长夜短，夏至时昼最长夜最短；冬半年（秋分到翌年春分）昼短夜长，冬至时昼最短夜最长。南半球情况相反。

在极圈范围内有极昼和极夜现象，在北极圈范围内，夏至时极昼现象范围达到最大（南极圈内极夜现象范围达到最大）；冬至时极夜现象范围达到最大（南极圈内极昼现象范围最大），随纬度增高极昼、极夜现象的时间延长，在极点极昼和极夜现象各为半年。

随纬度的增加，昼夜长短的变化越来越大，但各纬度全年的平均昼长和夜长都是12小时。

表2-2 极区各纬度的极昼和极夜长短

纬度	北半球		南半球	
	极昼期	极夜期	极昼期	极夜期
70°	72天(5月17—7月27)	53天(11月26—1月17)	69天(11月18—1月25)	56天(5月25—7月19)
75°	108天(4月29—8月14)	93天(11月6—2月6)	103天(11月1—2月11)	98天(5月4—8月9)
80°	138天(4月14—8月29)	123天(10月22—2月21)	132天(10月17—2月25)	128天(4月19—8月24)

续表

纬度	北半球		南半球	
	极昼期	极夜期	极昼期	极夜期
85°	165天(4月1—9月12)	149天(10月8—3月5)	157天(11月4—3月9)	156天(4月5—9月7)
90°	191天(3月19—9月25)	174天(9月20—3月18)	184天(9月21—3月23)	181天(3月24—9月20)

表2-3 各纬度的最长昼和最短昼

纬度	最长昼	最短昼
0°	12小时7分	12小时7分
10°	12 43	11 33
20°	13 21	10 55
30°	14 5	10 13
40°	15 1	9 20
45°	15 37	8 46
50°	16 22	8 5
55°	17 23	7 10
60°	18 52	5 53
65°	22 3	3 36
65°43'	24 0	3 3
67°25'	45天	0 0

由表2-2和表2-3可见,由于大气折光作用和太阳视半径的影响,昼的时间(也包括极昼时期)延长;随着纬度增加昼夜长短的变化越来越大;北半球的极昼期长于南半球,极夜期短于南半球,这是由于公转速度不等所致。

2. 正午太阳高度的纬度分布和季节变化

昼夜长短决定着日照时间,日照时间长地球表面获得热量多,气温就高,但是日照时间不是决定地表获得热量多少唯一的决定因素。太阳高度的

大小也是影响地表获得热量多少的重要因素。在极区范围内虽然有极昼现象,日照时间虽长,但其获得热量仍少于中低纬地带,气温仍低于中低纬地带,这主要是太阳高度小的缘故。

一束太阳光,垂直照射地面(太阳高度为 90°),则单位面积上获得的太阳能就多;同样一束太阳光斜射地面(太阳高度小于 90°),因被照射的面积扩大了,则单位面积上获得的太阳能就少。如图2-22所示,一束太阳光,垂直照射AB面上,其单位面积上所获得的太阳能为 I_0 ;斜射(太阳高度为 $h < 90^\circ$)AC面上,其单位面积上所获得的太阳能为 I , I 与 I_0 的关系为:

$$I = I_0 \sin h$$

所以,地面所获太阳能的多少与太阳高度的正弦成正比,当 $h = 90^\circ$ 时, $I = I_0$ 即达最大值。

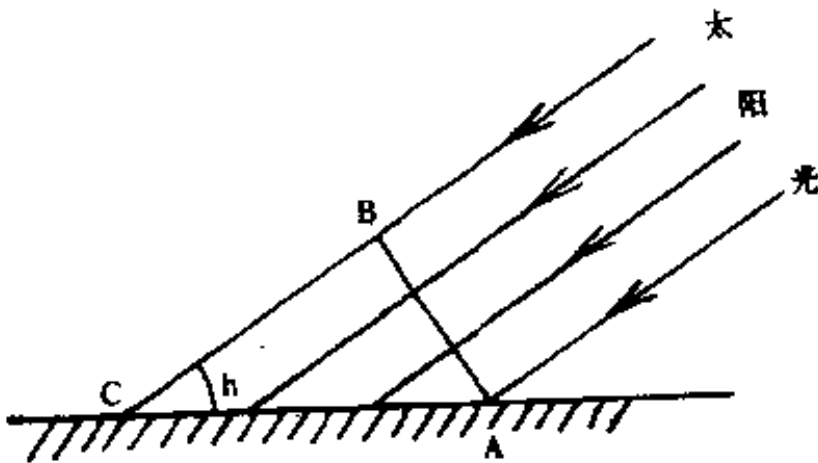


图2-22 太阳高度与地面获得太阳能的关系

如前所述,在南北回归线之间,太阳有垂直照射的情况,终年太阳高度都很大,所以获得太阳能就多;在回归线到极圈范围内,太阳终年斜射,太阳高度小,所以获得太阳能较少,在极圈范围内,太阳高度终年都很小,且有见不到太阳极夜的日子,所以获得太阳能最少。

为了定量说明太阳高度随纬度的变化,可以推导出太阳高度(h)与纬度(ϕ)的关系式。

首先明确两点：第一，我们所说的太阳高度都指正午太阳高度，即太阳通过午圈时的太阳高度。各纬度的太阳高度就是在各纬度上任一点的正午太阳高度；第二，太阳直射点的纬度位置投影到天球上就是太阳的赤纬值，即太阳直射点的地理纬度等于太阳的赤纬。

下面分三种情况来说明：

第一种情况，太阳直射赤道，即太阳赤纬（ δ ）等于0，则纬度 ϕ 的太阳高度 h 为：

$$h = 90^\circ - \phi \quad (\text{如图2-23所示})$$

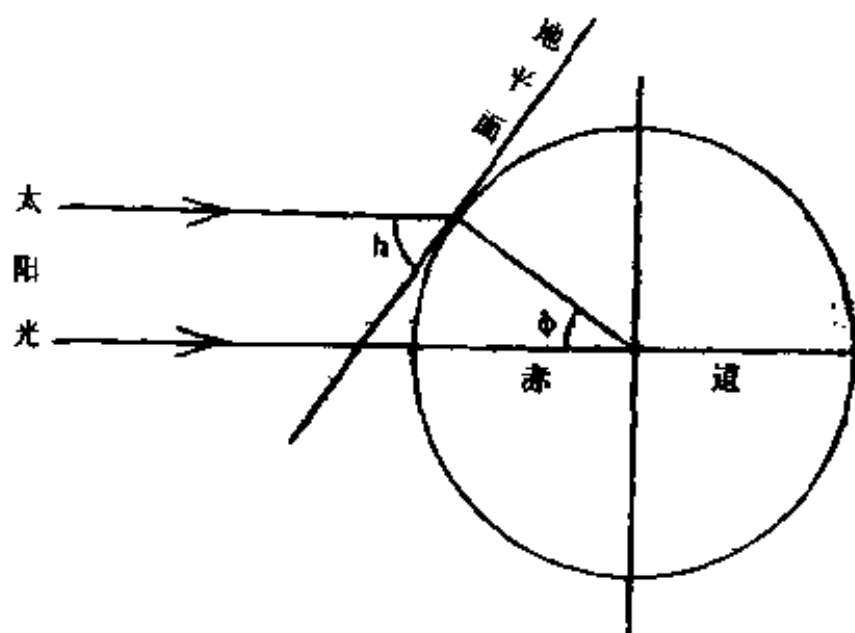


图2-23 太阳直射赤道时纬度 ϕ 的太阳高度

第二种情况，太阳直射点在北半球，即北半球为夏半年，南半球为冬半年，则纬度 ϕ 的太阳高度 h 为：（图2-24所示）

$$\text{北半球：} h = 90^\circ - (\phi - \delta) = 90^\circ - \phi + \delta$$

$$\text{南半球：} h = 90^\circ - (\phi + \delta) = 90^\circ - \phi - \delta$$

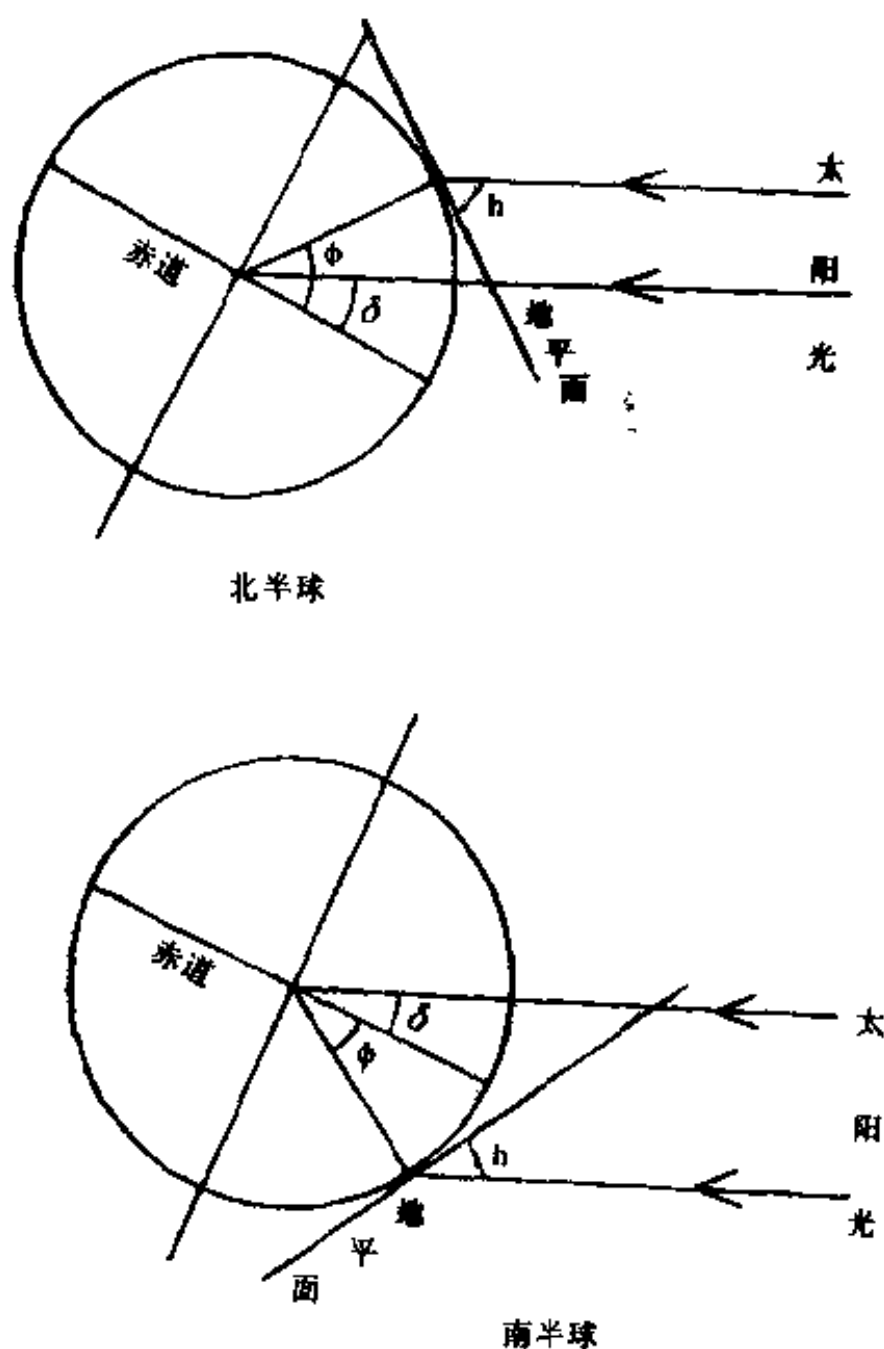


图2-24 太阳直射点在北半球，纬度 ϕ 的太阳高度

第三种情况，太阳直射点在南半球，即南半球为夏半年，北半球为冬半年，则纬度 ϕ 的太阳高度 h 为：（图2-25所示）

$$\text{南半球 } h = 90^\circ - (\phi - \delta) = 90^\circ - \phi + \delta$$

$$\text{北半球 } h = 90^\circ - (\phi + \delta) = 90^\circ - \phi - \delta$$

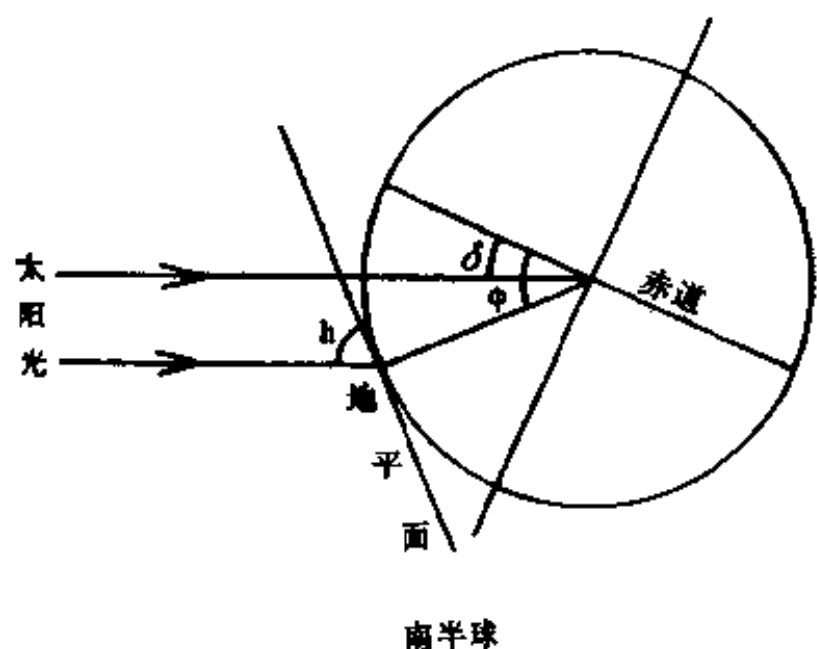
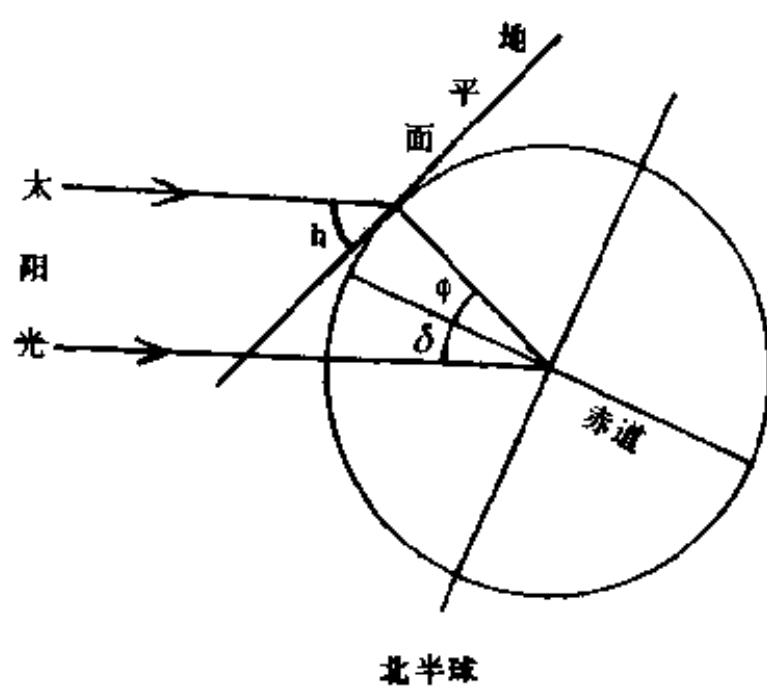


图2-25 太阳直射点在南半球，纬度φ的太阳高度

综合上述三种情况，可归纳出一个公式：

$$h = 90^\circ + \phi \pm \delta$$

此式即为一般常用的求太阳高度公式，式中φ和δ不分其南北半球都取绝对值，δ前的正负号决定于冬夏半年，所求纬度若处于夏半年则取正号，若处于冬半年则取负号。

由公式可以看出，太阳高度与当地的地理纬度和当时的太阳赤纬有关。也就是说，太阳高度随地理纬度和时间而变化。

现举例说明太阳高度的求法：

北京 (N40°) 南京 (N32°)，求春分日、秋分日、夏至日和冬至日的太阳高度。

春、秋分时太阳赤纬 $\delta = 0^\circ$ ；夏至日 $\delta = 23^\circ 26'$ ；冬至日 $\delta = -23^\circ 26'$

分别将北京、南京的地理纬度值和不同时间太阳赤纬值代入求太阳高度公式可得如下数值：

时间 地点	春分日 $\delta = 0$	夏至日 $\delta = 23^\circ 26'$	秋分日 $\delta = 0$	冬至日 $\delta = -23^\circ 26'$
北京 (N40°)	50°	73°26'	50°	26°34'
南京 (N32°)	58°	81°26'	58°	34°34'

注意：代入 $h = 90^\circ - \phi \pm \delta$ 公式时， ϕ 、 δ 都取绝对值；夏至日时 δ 前取“+”号，冬至日时取“-”号。

现将赤道、回归线、极圈和极地正午太阳高度的变化列为表 2-4：

表2-4 二分二至时各纬度的正午太阳高度

日期 纬度	春分日 ($\delta = 0^\circ$)	夏至日 ($\delta = +23^\circ 26'$)	秋分日 ($\delta = 0^\circ$)	冬至日 ($\delta = -23^\circ 26'$)
N90°	0°	23°26'	0°	-23°26'
N66°34'	23°26'	46°52'	23°26'	0°
N23°26'	66°34°	90°	66°34'	13°8'

续表

日期 纬度	春分日 ($\delta = 0^\circ$)	夏至日 ($\delta = +23^\circ 26'$)	秋分日 ($\delta = 0^\circ$)	冬至日 ($\delta = -23^\circ 26'$)
0°	90°	$66^\circ 34'$	90°	$66^\circ 34'$
S $23^\circ 26'$	$66^\circ 34'$	$43^\circ 8'$	$66^\circ 34'$	90°
S $66^\circ 34'$	$23^\circ 34'$	0°	$23^\circ 26'$	$46^\circ 52'$
S 90°	0°	$-23^\circ 26'$	0°	$23^\circ 26'$

从表2-4中可以看出:

在南北回归线之间,终年太阳高度很大,且有直射,变化范围在 $90^\circ - 43^\circ 8'$ 之间。

在回归线至极圈范围内,太阳高度变化很大, $90^\circ - 0^\circ$ 之间。

在极圈范围之内,终年太阳高度很小,且有负值,变化在 $46^\circ 52' - -23^\circ 26'$ 之间,有极夜现象。

3. 日地距离的变化

前面所述昼夜长短和正午太阳高度的变化都是半球性的,即北半球昼长夜短,太阳高度大时,南半球则昼短夜长,太阳高度小;反之亦然,日地距离变化则是全球性的。

地球公转轨道是个椭圆,太阳位于椭圆的一个焦点上,地球公转过程中日地距离随时改变,每年1月初地球处于近日点,日地距为14710万公里,7月初地球处于远日点,日地距为15210万公里。其他时候日地距离处于这两个数值之间。

根据地球表面接受太阳能的多少和日地距离的平方成反比的关系可知:

$$(15210 \text{ 万公里})^2 : (14710 \text{ 万公里})^2 = 1.069$$

即地球在近日点时所获得的太阳能比在远日点时约多6.9%。

但是在北半球，地球在近日点时，正处于一年中最寒冷的时期，在远日点时，正处于一年中最炎热的时期。由此可见，日地距离的变化对地球接受太阳能多少的影响和冬夏季节的形成并不起决定作用。在近日点时，北半球昼短夜长，太阳高度小，所以严寒；在远日点时，北半球昼长夜短，太阳高度大，所以炎热。因此，日照时间长短和太阳高度的变化是形成冬夏寒暑交替的决定性因素。日地距离的变化对地表寒暑变化仅能起到增强和削弱的作用。

4. 四季的划分

由于昼夜长短、太阳高度和日地距离随时间的变化，造成了地球表面寒暑的季节变化。其中昼夜长短和太阳高度的变化，是起决定性作用的。

在赤道两侧的低纬地区，昼夜长短和太阳高度终年变化不大，全年获得太阳辐射能很多，气温高，季节交替现象不明显；在极地附近的高纬地区，昼夜长短变化很大，终年太阳高度很小且有负值，只有冬夏之分，没有春秋的过渡季节；中纬地区，昼夜长短和太阳高度变化都大，四季交替最为明显。

季节交替现象南北半球相反，北半球夏季，南半球冬季；北半球春去暑来，南半球秋过冬到。

天文上划分四季是以太阳在黄道上的视位置为依据的，以二分日、二至日或以四立日为划分四季的界限。其具体情况列在表2-5：

西方划分四季是以二分日和二至日为界限的，就北半球情况而论（南半球相反）：

春季：从春分日到夏至日，长92（93）天；

夏季：从夏至日到秋分日，长93（94）天；

秋季：从秋分日到冬至日，长89（90）天；

冬季：从冬至日到春分日，长88（89）天。

一般又把从春分日经夏至日到秋分日作为夏半年，从秋分日

表2-5 天文四季划分界限

名称	太阳黄经	阳历日期
春分日	0°	3月20(21)日
立夏日	45°	5月5(6)日
夏至日	90°	6月21(22)日
立秋日	135°	8月7(8)日
秋分日	180°	9月23(24)日
立冬日	225°	11月7(8)日
冬至日	270°	12月21(22)日
立春日	315°	2月4(5)日

经冬至日到春分日作为冬半年。

在我国四季的划分是以四立日为界的。立春日到立夏日为春季；立夏日到立秋日为夏季；立秋日到立冬日为秋季；立冬日到立春日为冬季。

从天文意义上讲，以四立为划分四季界限更为科学。夏至日日照时间最长，太阳高度最大，获得

太阳能最多，把夏至日安排在夏季中间；冬至日日照时间最短，太阳高度最小，获得太阳能最少，安排在冬季中间。这些都是合理的。但是从气候上讲，夏至日不是最热的时候，冬至日也不是最冷的时候，最热和最冷都要推迟1—2个月。因此，把夏至日，冬至日安排为夏季和冬季的开始更具有气候上的特点。

通常也有按月划分四季的，阳历3—5月为春季，6—8月为夏季，9—11月为秋季，12月到翌年2月为冬季。

我国幅原辽阔，大部分处于中纬地区，四季交替明显，地区差异也很显著。按上述天文季节划分四季与实际气候特征不符，为此在气候上通常采用候平均气温划分四季的办法。每5天为一候，一年共73候，每5天的平均气温即为候平均气温。候平均气温 $\geq 22^{\circ}\text{C}$ 的时期为夏季；候平均气温 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ 的时期为冬季；候平均气温介于 10° — 22° 之间者为春、秋季。按此标准定四季，具有

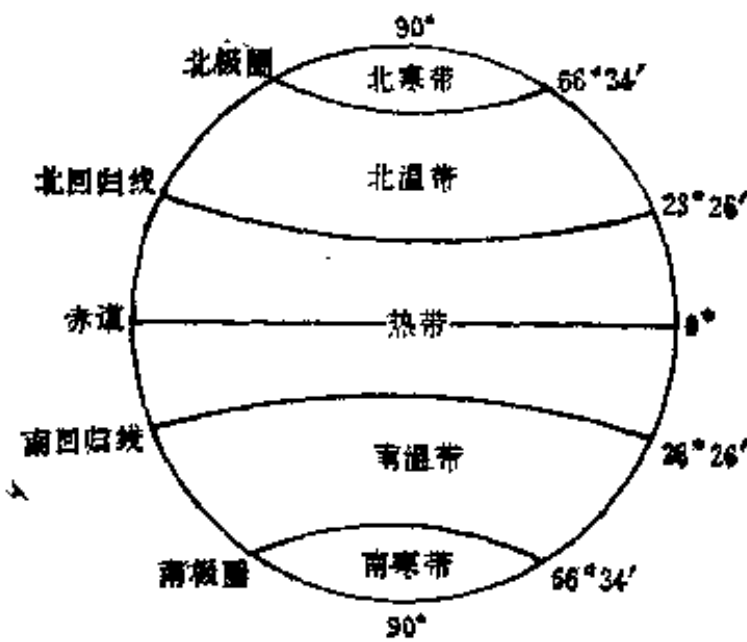
明显气候特征和地区性。例如，北京春季始于4月1日，终于5月25日，共55天；夏季始于5月26日，终于9月5日，共103天；秋季始于9月6日，终于10月25日，共50天；冬季始于10月26日，终于次年3月31日，共157天。

气候季节更具有实用价值，而天文季节更具有理论意义，是气候季节划分的基础。

三、五带的划分

根据太阳高度和昼夜长短随纬度的变化，可将地球表面划分为热带、南、北温带和南、北寒带五个热量带，简称五带。五带的划分完全是根据太阳高度和昼夜长短天文因素来决定的，所以五带又是天文季节地带。

太阳高度最明显的界线是回归线，它是太阳直射和斜射的分界线；昼夜长短最明显的分界线是极圈，它是有无极昼和极夜的分界线。因此五带的分界线就是南、北回归线和南、北极圈（图2-26）。



热带：南、北回归线之间的地带；

北温带：北回归线与北极圈之间的地带；

南温带：南回归线与南极圈之间的地带；

北寒带：北极圈与北极之间的地带；

南寒带：南极圈与南极之间的地带。

五带的基本特征分

述如下：

热带 地处赤道两侧，南北所跨纬度为 $46^{\circ}52'$ ，占全球总面

积的39.8%。此带太阳高度终年很大，在赤道上变化在 $90^{\circ}-66^{\circ}34'$ 之间，在回归线上也维持在 $90^{\circ}-43^{\circ}8'$ 之间。因太阳高度大，是全球获得太阳能量最多，气温最高的地带。除回归线一年有一次直射之外，其他广大地区，一年有两次太阳直射的时机。因此，气温年变化呈两高两低的形式。从昼夜长短来看，赤道上终年昼夜等长，从赤道到南、北回归线昼夜长短变化幅度逐渐增大，在回归线上，最长和最短的白昼时间也仅相差2小时50分（最长昼13小时25分，最短昼10小时35分）。综合上述太阳高度和昼夜长短的情况，热带地区全年高温，变化幅度小，四季不分明，一般只有热季和凉季或雨季和干季之分。

温带 分别处于南、北半球回归线与极圈之间的中纬地带，各跨纬度 $43^{\circ}8'$ ，南北温带的面积占全球总面积的52%。此带内太阳高度变化很大，在回归线上太阳高度变化在 $90^{\circ}-43^{\circ}8'$ 之间，随纬度增高太阳高度减小，到极圈变化在 $46^{\circ}52'-0^{\circ}$ 之间。太阳高度全年有一最大值有一最小值，气温年变化呈一高一低形式。昼夜长短的变化也很大，最长昼和最短昼之差，在回归线上为2小时50分，到极圈为24小时。综合上述情况，太阳高度比热带小，但比寒带大，太阳高度和昼夜长短变化都很显著，所以形成四季分明的温带。

寒带 分别以南、北极为中心，极圈为边界的地区，所占面积最小，仅占全球总面积的8.2%。本区终年太阳高度很小，在极圈上最大值为 $46^{\circ}52'$ ，在极地最大值仅为 $23^{\circ}26'$ ，且有负值出现。极昼和极夜的现象随纬度增加而愈加显著。综合这些情况，此带获得太阳能量最少，气温很低，特别是在极夜期间更加酷寒。

热带、温带、寒带的布局表明了由赤道到两极热量分配的不均，而热量分配状况是决定自然地理环境特征的最基本因素。因此表现出由赤道到极地自然地理特征的纬度地带性规律。热带是地球表面最大的热源，两极是最大的冷源，热量高值区必然向低

值区输送热量，这对于全球性的大气环流、洋流的形成、分布具有重要意义。温带地区正是冷暖气流交汇的地带，形成四季分明天气多变的气候特征。

影响自然地理环境的形成和发展演化的因素很多，本章所述的天文因素仅是其中之一，但它是重要的基本因素，在其基础上再进一步考虑大气的影响、地球表面海陆分布、地形起伏等因素的作用，才能得出自然地理环境形成、发展演化的全面概念。

本章总结

地球运动是复杂的，它是多种形式运动的综合。地球绕地轴自转的同时又绕太阳进行着公转，在这过程中地轴还存在着微小的进动。这仅是在太阳系内部来看地球的运动。实际上太阳系作为整体在银河系内也在运动着，这种运动是两种运动的合成，一种是绕银河系中心的运动，一种是指向武仙星座的运动。而银河系也作为整体又在向麒麟星座方向运动着。地球都参加了这些运动的行列，地球的运动就是这些运动的综合状态。在建立了这个全面的概念基础之上，才能更正确地更深入地理解地球的自转和公转运动。

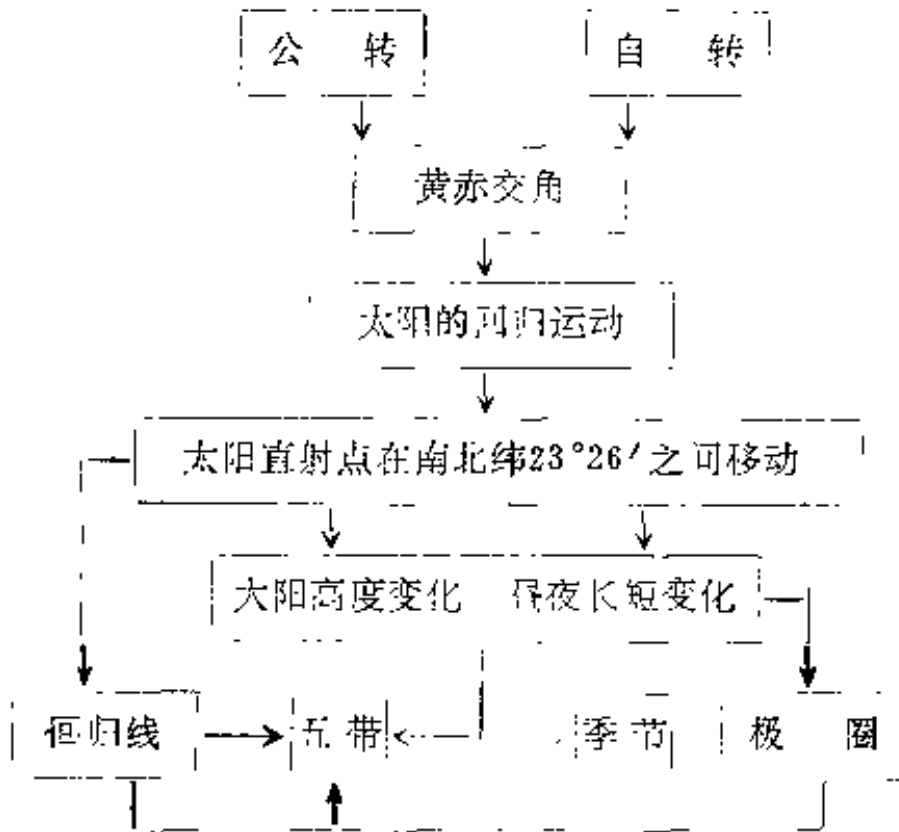
地球的自转和公转是地球运动最基本的形式，也是最具有地理意义的运动形式，因此它是本书的重点内容之一。

地球自转和公转的特征及其产生的地理效应是重点内容，其中最重要的是：自转轴与公转轨道面始终呈 $66^{\circ}34'$ 的倾斜，即黄赤交角的存在，由此而产生的太阳回归运动——太阳在地球表面直射点以年为周期往返于地球南、北回归线之间，其重要的结果是昼夜长短和太阳高度的变化。在时间上变化的规律就是季节交替现象；在空间分布的规律就是五带的分布。

季节交替和五带分布是支配着自然地理环境中各种自然现象

时间上的发展变化和地区差异最基本的因素。因此，本章内容是学习自然地理学的重要基础之一。

季节和五带的形成过程可用下图表示：



复 习 题

1. 列表说明地球自转、公转的方向、周期和速度。
2. 从哪些自然现象中可以证明地球的自转运动？
3. 举例说明地球自转的地理意义。
4. 绘图说明地平坐标系、赤道坐标系和黄道坐标系。
5. 何谓地轴的进动？进动有何影响？
6. 产生太阳高度和昼夜长短变化的主要原因是什么？
7. 为什么中纬地带四季分明，而低纬、高纬季节交替不明显？
8. 说明从赤道到极地昼夜长短变化的规律。
9. 分别计算出下列地点，夏至日和冬至日的太阳高度。

卑尔根(N60°24')

上海(N31°12')

达尔文港(S12°30')

圣克鲁斯(S40°18')

10. 划分五带的根据是什么? 简述各带主要特征。

第三章 地月系

月球是地球唯一的天然卫星，在地球引力作用下，月球有规律地绕地球运行，构成地月系。由于月绕地，地绕日的运动，我们在地球上才能看到月相的变化以及日食、月食的现象。月球具有相当大的质量，而又是距地球最近的天体，所以它的引力作用对地球的影响尤为突出，表现在地球上的潮汐现象和自转速度的变慢。月球是人类了解最多的天体，在1959年苏联“登月3号”探测器首次实现了环绕月球的运行，拍下了月球背面的照片。十年之后，即1969年美国“阿波罗”11号登月成功，3名宇航员踏上了月球大地，揭开了人类步人宇宙新的一页。到1972年“阿波罗”飞船先后7次降落月面，进行了大量的科学考察，并建立了观测站。不久的将来，月球会成为人类开发宇宙的第一个基地。

第一节 月球

人类对月球的研究已经有2000多年的历史了。早在公元前300年巴比伦人就记录并预报了月球的视运动。目前人类已经登上了月球，在月球表面安置了仪器，建立了月震和激光反射器网，宇航员还采集了月壤和月岩的样品。人类对月球的认识已经大大跃进了一步。通过对月球的研究无论是在天体演化理论上，还是在宇宙开发实践上都有着重要意义。

一、月球的主要特征

1. 月地距离

月球是距地球最近的天体，月地距离的测量开始得最早，精

确度也最高。本世纪60年代，利用雷达技术测定月地距离。其原理是：向月球发射无线电讯号，并记下发射讯号的开始时间，当讯号到达月球后又反射回地面观测站时，再记下接收的时间，这两个时间之差即为无线电波，往返月地之间所需的时间长短，无线电波传播速度即为光速，根据下式可求出月地距离：

$$\text{月地距离} = \frac{\text{光速} \times (\text{接收时间} - \text{发射时间})}{2}$$

70年代开始使用激光技术测距，由于激光比无线电波波束更加集中，方向性好，单色性强，使测距精度大大提高。

月球绕地运行是个椭圆轨道，月球在远地点时距地球为405508公里，近地点时为363300公里，平均距离为384404公里。

2. 月球的大小和质量

在太阳系里所有的卫星中，月球与它的主星（地球）体积的比值是最大的。月球的半径为1738公里，约为地球半径的3/11，表面积约是地球的1/4，体积约是地球的1/49。因为月地距离比日地距离小得多，所以在地球上看来月球的视半径与太阳的视半径差不多，其值为15'32"。

月球的平均密度为3.34克/厘米³，相当于地球平均密度的3/5。整个月球的质量为7.35×10²²克，相当于地球质量的1/81。

月球表面重力加速度为1.62米/秒²，约为地球表面重力加速度的1/6，即月球表面重力仅为地球表面重力的1/6，在地球上体重为60公斤的宇航员到月球上，仅重10公斤了。月球的逃逸速度为2.36公里/秒，约为地球的1/5。因此，在月球上发射航天器，要比在地球上发射容易得多，所以有人提出了把月球建成航天基地的设想。

3. 月球的表面状况

月球体积小，平均密度不大，以至使表面重力很低，不能保

持着永恒的大气层。所以月球表面特征与地球有很大的不同。

在地球上用肉眼就可以看到月面最大的特征是：暗区和亮区，暗区是平坦的海，它是无水的海，实际上是平原和低洼地；亮区是崎岖不平的高地和山脉。我们所见的月球正面，平原和高地几乎各占一半；背面则以高地为主（图3-1和图3-2）。

早在17世纪时，人们曾把暗区称为“海”，“洋”、“湖”、“湾”，一直沿用至今。由于这些海地势低洼，反射太阳光能力弱，所以显得黑暗。已知的月海有22个，在月球正面较大的月海有10个，位于月面西部主要的海有：危海、澄海、静海、丰富海和酒海；位于月面东部的主要有：暴风洋、雨海、云海和湿海。其中暴风洋的面积最大，达500万平方公里。海大多呈封闭圆形，四周多被山脉包围。

月球表面的山脉分布在起伏的高地之上，山脉虽然很高，但不很陡。最长的山脉是亚平宁山，长达1000公里，其它高大的山脉有高加索山、阿尔卑斯山等十多条。最高的山峰是位于月球南极附近的莱布尼兹山，高达9000米，比地球上的最高峰珠穆朗玛峰还高出100多米。

月球表面最显著的地形是环形山，也称月坑（图3-3），它很象地球上的火山地形，无论是低平的海还是在高地上都有环形山的分布，总数达5万个以上。环形山中间是圆形的低地，内侧陡峭，外侧平缓，有的向外延伸出辐射状的条纹。环形山多以著名的天文学家和其他科学家的名字命名，如第谷、哥白尼、开普勒、祖冲之、张衡等环形山，直径大于100公里的环形山约有40个，直径大于1公里的约有3300个，最大的是在月球南极附近的贝利环形山，直径为294公里。对环形山的形成目前有两种假说：一种说法是流星碰撞的结果；另一种看法是火山爆发后的遗迹。一般认为：小的环形山可能是流星碰撞而形成的；大的环形山可能是火山活动的结果。

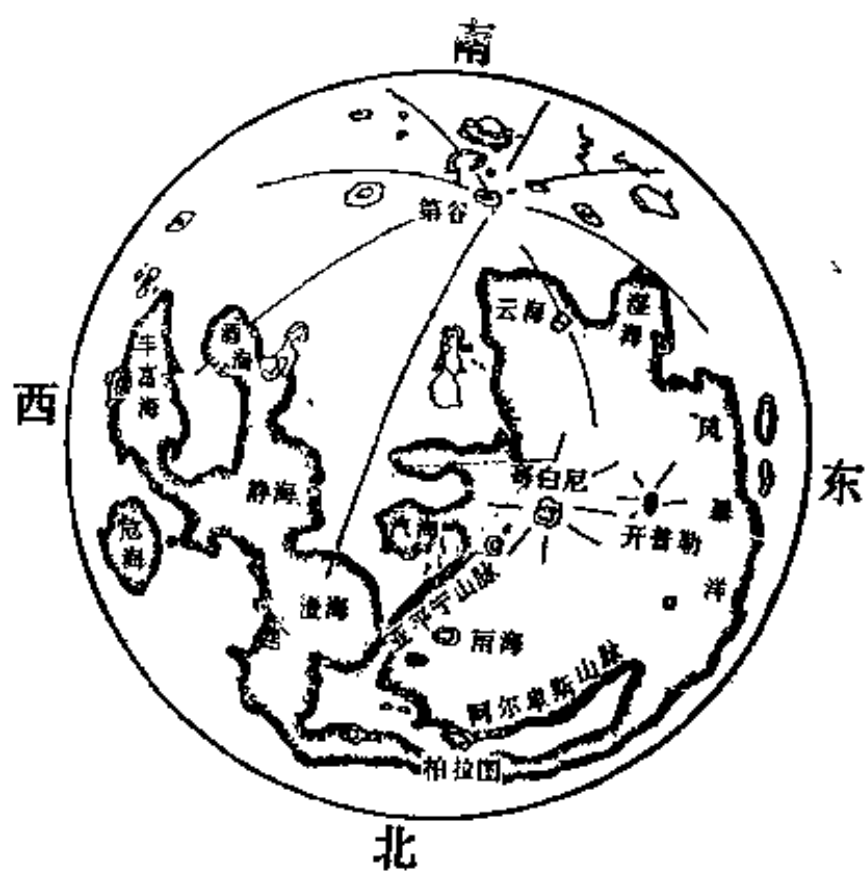


图3-1 月球正面图

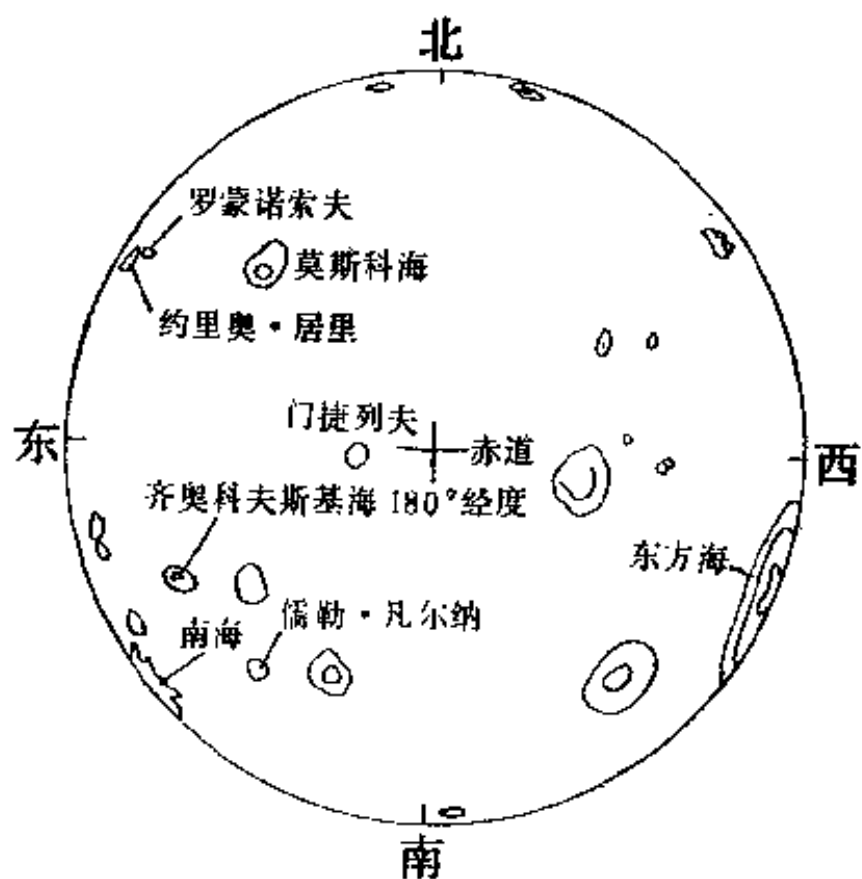


图3-2 月球背面图



图3-3 月球上的环形山

从“阿波罗”在月球表面的月海和高地上采回的样品得知，其组成物质是火山喷发物，年龄大约为40亿年左右的玄武岩。在月面没有发现水和有机物。

由于月球重力很小，白昼时表面温度又很高，致使较轻的元素迅速逃逸，所以月球表面没有大气。没有大气的保温和调温作用，使得月面温度变化极大，白昼时最高温可达到 127°C ，而到夜晚温度可降到 -183°C 。

月球表面没有大气，没有水，没有生命活动，所以月面环境与地球表面自然地理环境截然不同，它是个荒漠广布的寂静世界。达种状态很可能与地球在有机物出现之前的状况相类似。

4. 月球的内部结构

目前正在月球上进行月震的研究，热流的测量，表面磁场与重力分布图的绘制等项工作，对了解月球的结构、物质组成、物理性质等方面将提供宝贵的资料。

通过对月震波的分析可知，月球也有壳、幔、核的分层结构。月球有一个坚硬的外壳，称月壳，其厚度约60公里左右，月壳下面是厚约1000公里的月幔。其中，上部是固态的，下部的局部可能处于熔融状态；最内是半径为几百公里的月核，主要由铁

镍组成，可能处于熔融状态。

月球的分层结构与地球相似，但也有显著区别。月球的平均密度为 3.34 克/厘米³，宇航员从月面采回的岩石平均密度为 3 克/厘米³，稍小于平均密度，这说明月球物质重力分异现象不如地球那样显著。而重力分异过程是形成分层结构的主要因素。影响月球重力分异过程的因素主要有两方面：一是月球内部温度（约 1000°C ）不象地球内部温度（ 4500°C — 5000°C ）那样高；二是

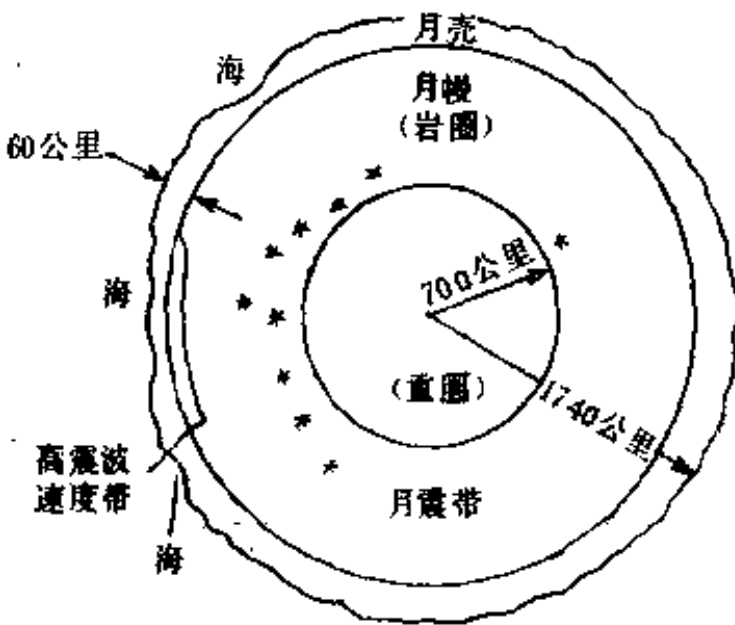


图3-4 月球结构图

月球质量和重力都小于地球。这就造成在月球上较轻的易挥发的物质逃逸掉，而较重的物质遗留下来，但又不十分明显地向中心进行重力分异过程。所以，月球的分层结构与地球又有显著的差异，不那么清晰明确（图3-4）。

二、月球的运动

1. 月球公转轨道和黄白交角

月球绕地球的运动，叫月球的公转运动。地球的质量是月球的 81 倍，它们的公共质量中心在地球的内部，距地心为 4671 公里。在地球一月球的相互引力作用下，它们都绕公共质心运行，构成太阳系中次一级的结构单元——地月系。准确地说，月球的公转是月球绕月地公共质心的运动，由于它和绕地心运动差别不大，为把问题简化，所以一般就把月球的公转看成是绕地球（地心）的运动。

月球公转的轨道是个椭圆，地球位于椭圆的一个焦点上。椭

圆的偏心率为0.0549。近地点的平均距离为363300公里，远地点的平均距离为405508公里。

我们在地球上看到月球的公转轨道是个封闭的椭圆（如图3-5上图所示）。如果我们飞出地球，在太阳系行星际空间来看月球的运动，情况大不一样。月球在绕地球运转的同时还随同地球绕太阳运转，所以月球运行的轨道是：月球绕地球，地球绕太阳两种运动的合成（如图3-5中图所示）。

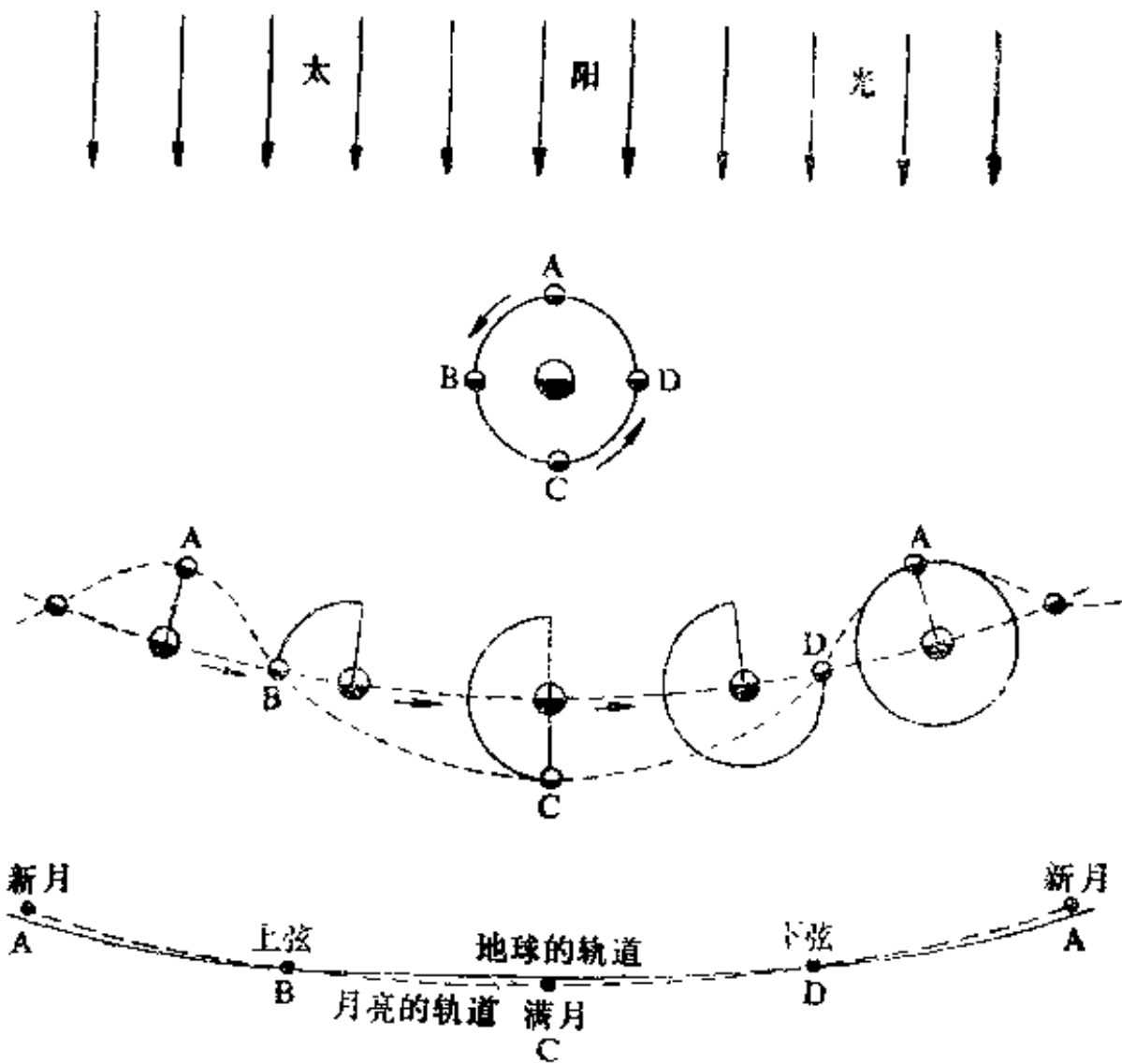


图3-5 月球的运动
 上图是月球对于地球的运动
 中图是月球对于太阳的运动(示意图)
 下图是月球的真实轨道(按比例绘制)

月球绕地球运转的轨道平面与地球绕太阳运转的轨道平面并不重合，而是斜交的，它们之间的夹角平均为 $5^{\circ}9'$ 。把月球绕地球运转的轨道投影到天球上，叫做白道。白道与黄道的夹角称为黄白交角，其值平均为 $5^{\circ}9'$ 。

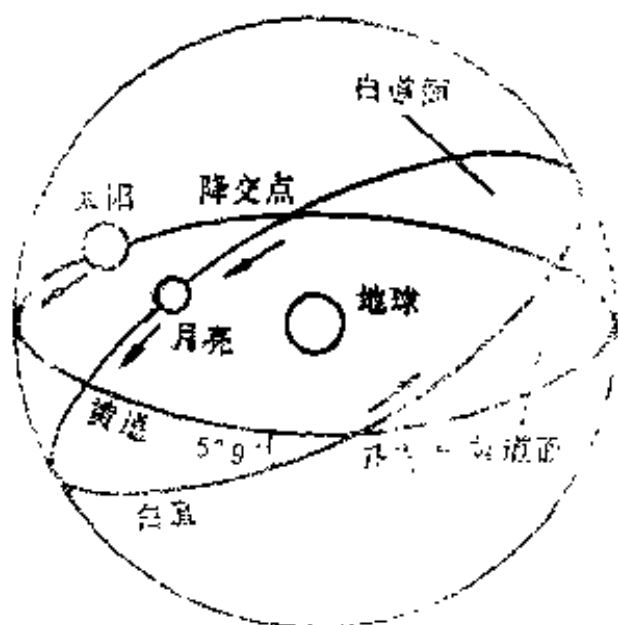


图3-5 黄白交角和交点

白道与黄道都是天球上的大圆，它们有两个交点。月球在白道上运行，从北天极看，月球是按逆时针方向前进的，月球从黄道以南穿越黄道到黄道以北的那个交点，叫升交点；月球从黄道以北穿越黄道到黄道以南的那个交点，叫降交点；（图3-6）。

月球绕地球运转主要受地球引力的作用，但它也受太阳引力的干扰。由于太阳对月球的引力作用，使月球公转轨道面发生顺时针方向的旋转（和月球公转方向相反），因而使升、降交点在黄道上向西移动，每年西移约 $19^{\circ}.1$ 。交点在黄道上移行的周期是18.6年，即经过18.6年，交点又回到原来位置。

在黄道上除有升、降交点外，尚有天赤道与黄道的两个交点，即春分点和秋分点。这四个交点在黄道上都是西移的，但二分点移动慢，升降交点移动快，因此就存在升降交点与二分点重合的机会。当升交点与春分点（降交点与秋分点）重合时（图3-7a），白道和天赤道的交角最大，月球的赤纬也最大，值为 $\pm(23^{\circ}26' + 5^{\circ}9') = \pm 28^{\circ}35'$ ；当降交点与春分点（升交点与秋分点）重合时（图3-7b）白道和天赤道的交角最小，月球的

赤纬也最小，值为 $\pm (23^{\circ}26' - 5^{\circ}9') = \pm 18^{\circ}17'$ 。与太阳相比，月球的赤纬变化要大些，月球的赤纬最大变化在南北纬 $28^{\circ}35'$ 之间，而最小变化在南北纬 $18^{\circ}17'$ 之间，而太阳的赤纬经常维持在南北纬 $23^{\circ}26'$ 之间。

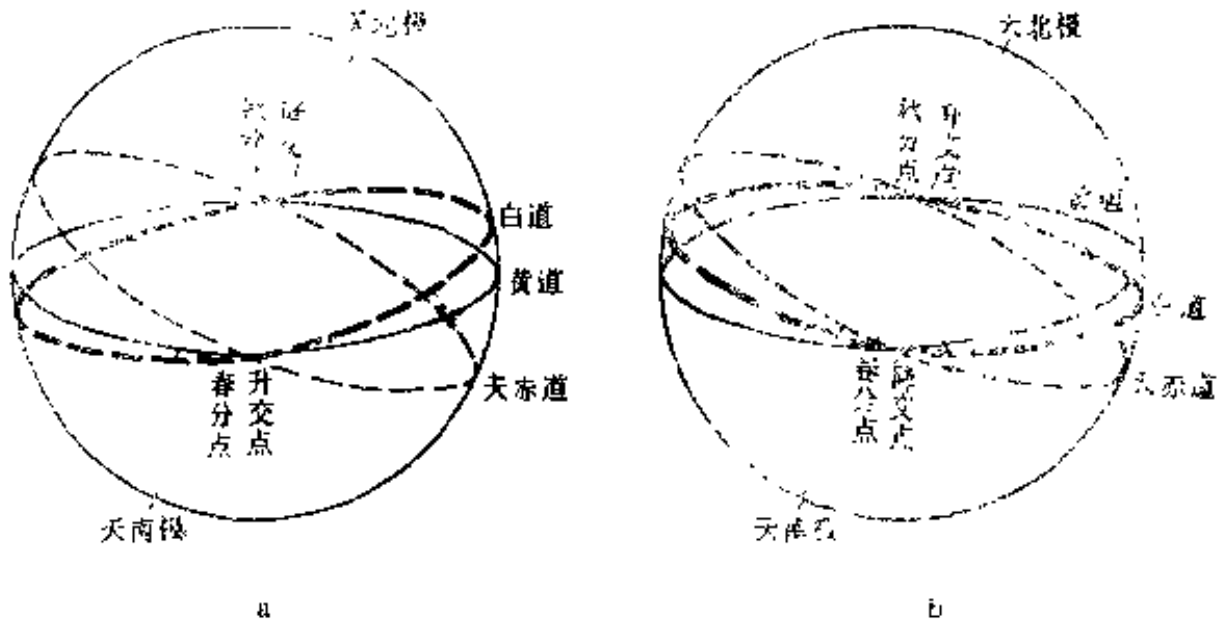


图3-7 月球赤纬的变化

2. 月球公转的周期、速度

月球绕地球运行一圈所需的时间，即为月球公转周期，时间为一个月。因选择月球公转周期的参考点不同，所以又有恒星月、朔望月之分。

恒星月为地心与月球中心的连线，连续两次指向同一恒星方向的时间间隔，其值为27日7时43分11秒，即27.3217日。它是月球公转 360° 所需的时间，所以是月球公转的真正周期。

朔望月为地心与月球中心连线，连续两次指向太阳中心的时间间隔，其值为29日12时44分3秒，即29.5306日。朔望月比恒星月长2.2089日，这是因为月球在绕地球公转的同时还随同地球绕太阳公转，地球自西向东公转了一段距离，这段距离对遥远的恒星来说可以忽略不计，但对太阳来说必须考虑(如图3-8所示)。

月球在公转 360° （一恒星月，27.3217日）的同时，地球向东公转了约 27° ，月球必须再转同样的角度，才可能完成一个朔望月，但此时地球又向东前进了约 2° 。所以一个朔望月月球公转的角度为 $360^\circ + 27^\circ + 2^\circ = 389^\circ$ ，正是因为朔望月比恒星月月球多运转了 29° ，才长出2.2089天。

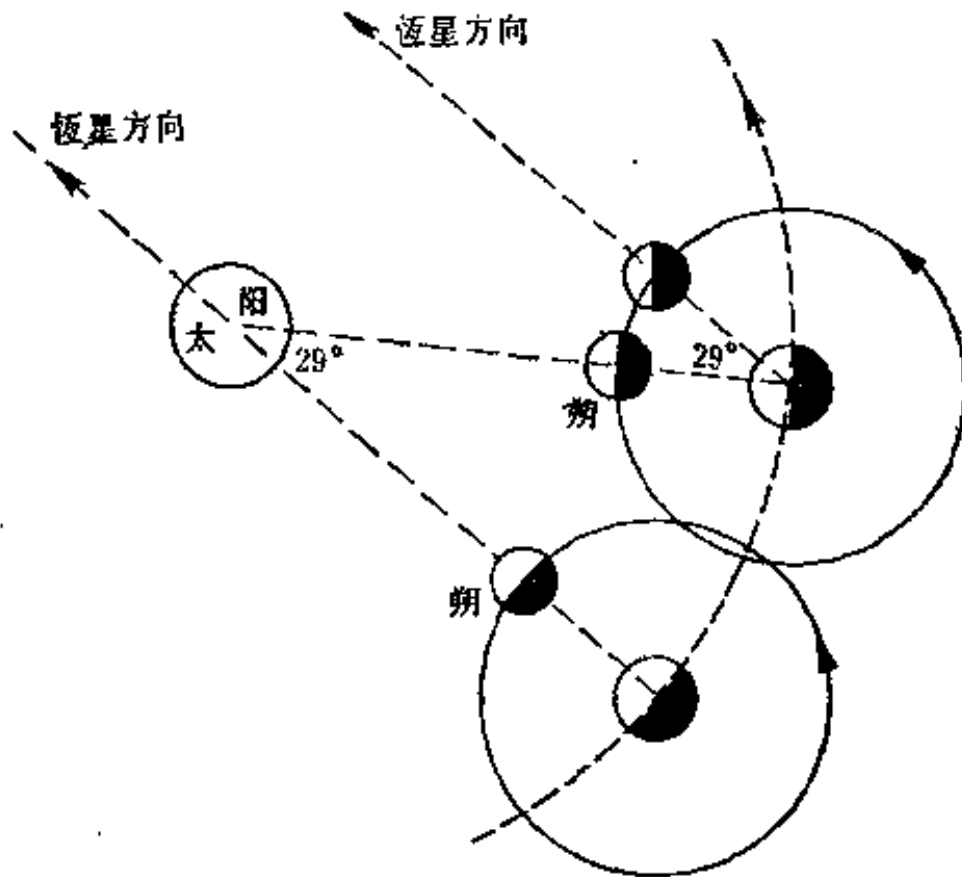


图3-8 恒星月与朔望月

除恒星月、朔望月之外，若以近地点为参考点，月球公转的周期即为近点月，长度为27日13时18分33秒，即27.5546日。若以升交点（或降交点）为参考点，月球公转的周期即为交点月，长度为27日5时36秒，即27.2122日。

依月球公转周期便可求出月球公转角速度。 $360^\circ \div 27.3217 \text{日} = 13.2^\circ/\text{日}$ 即为月球公转平均角速度。由于月球公转轨道是个椭圆，所以公转速度是不均的。近地点时最快，约为 $15^\circ/\text{日}$ ；远地点时最慢，约为 $11^\circ/\text{日}$ 。月球在公转轨道上平均每日自西向东移行

了 $13^{\circ}.2$ ，因地球自转所造成的月球自东向西的周日视运动，必然逐日向后推迟，地球自转 $13^{\circ}.2$ 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。这就是我们日常所见明月当空逐日推迟的道理。

月球公转的线速度也是在不断变化的，在近地点时为1.08公里/秒，在远地点时为0.97公里/秒，平均线速度为1.02公里/秒，即每分钟约走60公里。

3. 日月会合运动和月相

在一个朔望月中，月球运行正处于地球和太阳之间时，从地球上看来，日、月角距为零，此时叫做日月相合；当月球运行到地球和太阳之外侧时，从地球上看来，日、月角距为 180° ，此时叫做日月相冲。依此循环往复的过程，就是日月的会合运动。简言之，月球从日月相合（或相冲）再回到日月相合（或相冲）的运动，叫做日月会合运动。日月会合运动的周期就是朔望月。

月球本身不发可见光，我们所见到的月光是月球反射的太阳光。日月相合时，月球的向阳面正好完全背向地球，所以在地球上看不到明亮的月球，这时的月相叫做新月，也叫朔（图3-9a）。此时正值朔望月的初一，也叫朔日。当月球运行到和太阳角距为 90° 时，月球的向阳面的一半对着地球，所以在地球上看到西边半圆形的月相，叫上弦月（图3-9b）。此时正值朔望月的初七、八。每当太阳西下时，半轮明月在南方出现。当日月相冲时，月球和太阳角距 180° ，月球向阳面完全对着地球，所以在地球上看到就是一轮圆形明月，叫做满月，也叫望（图3-9c）。此时正值朔望月的十五前后，每当太阳西落时，一轮明月从东方升起。当月球运行至和太阳角距为 270° 时，月球向阳面的一半又对着地球，但此时在地球上看到是东边半圆形的月相，叫下弦月（图3-9d）。此时正值朔望月的二十二前后，午夜时半轮明月才从东方升起。在朔望月里，我们在地球上所见到的月球视亮面形状的变化，称为月球

的位相，简称月相。月相这种有规律的变化，自古以来就成为制定历法的依据之一。

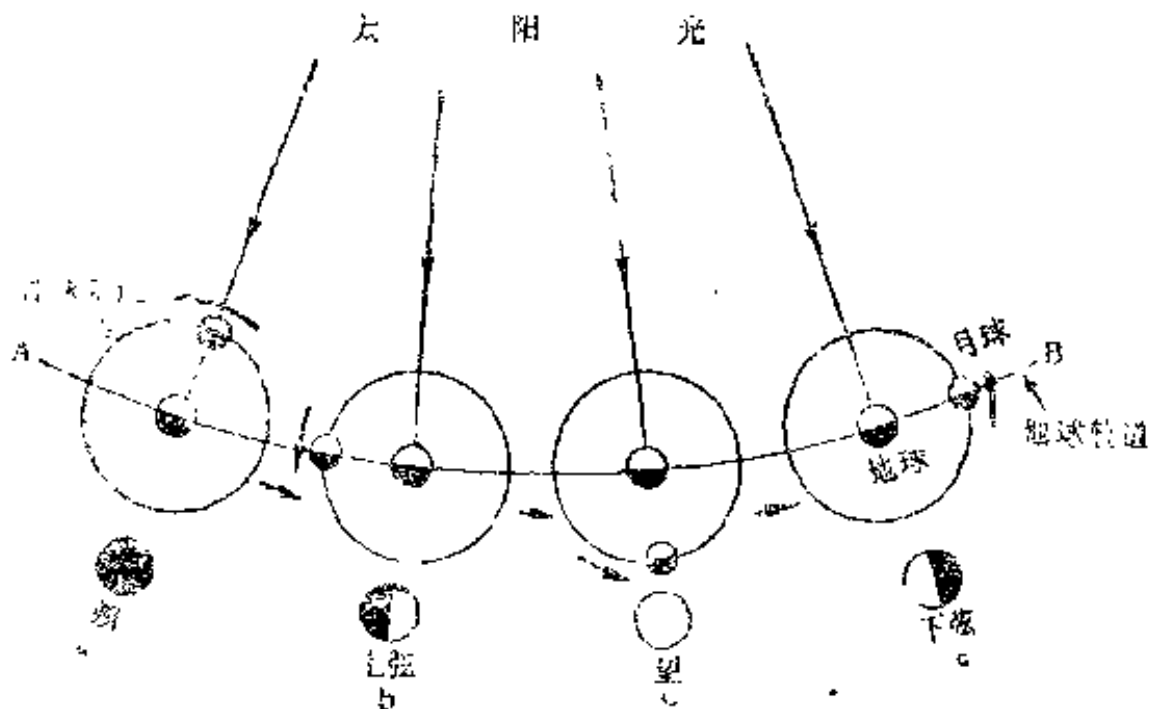


图3-9 月相

4. 月球的自转运动

我们在地球上看见月球，总是固定的一面向着地球，而它的背面总也看不到。产生这种现象的原因是：月球在公转的同时也进行自转，而且自转的方向与周期都和公转的方向与周期相同。

如图3-10所示，月球以逆时针方向进行着公转和自转，月球公转 90° 的同时也自转了 90° ，公转了 180° 同时也自转了 180° ，依此类推。这样就造成了月球总是固定的一面向着地球。月球自转一圈就是一天，公转一圈就是一个月，因为它们的周期相等，所以，月球的一天和一个月是等长的。自转周期长，使得月面昼夜交替现象比地球上慢得多，白天有充分的时间加热，而夜晚又有足够长的时间冷却，这是造成月面温度变化剧烈的重要原因之一。

在地球上见到的月面，并不是月球表面积的一半，比一半要大一些。这是因为月球在公转的过程中速度不断变化，公转快时在地球上能看到的月面西边部分多些；公转慢时在地球上能看到的月面东边部分多些。在地球上看见月球就好象向东西两边摆

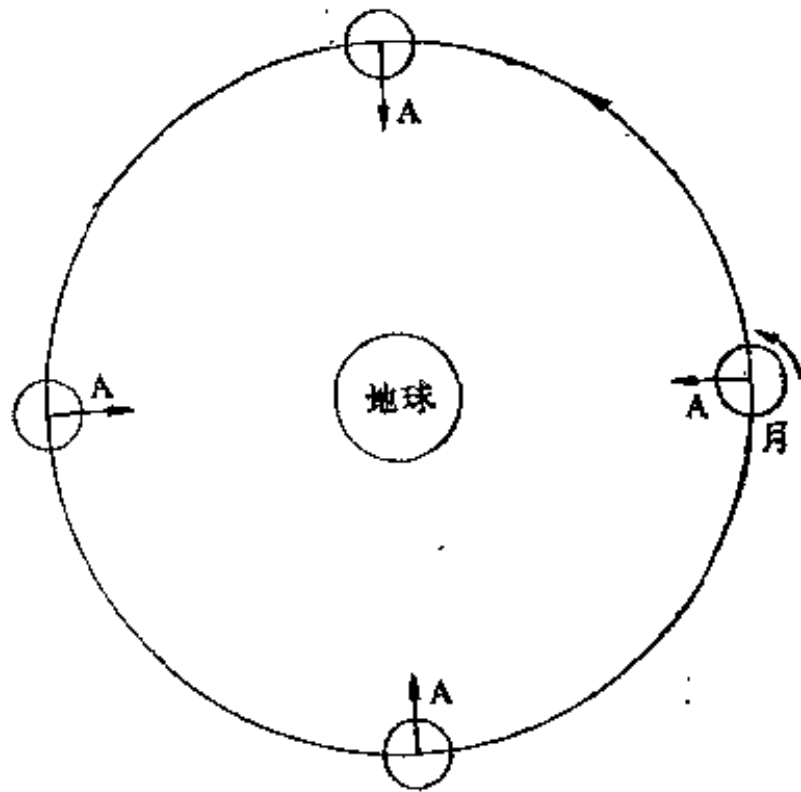


图3-10 月球自转和公转方向周期相同

动，这种现象叫月球的经度视天平动。另外，月球自转轴与公转轨道面不是垂直的，而呈 $83^{\circ}21'$ 的倾斜，月球公转处在不同位置，在地球上看去，有时月球北极部分范围大些，有时月球南极部分范围大些，在地球上看见月球这种南北摆动的现象，叫月球的纬度视天平动。在地球上看见，月球的这种东西、南北的摆动现象，通称为月球的视天平动。由此造成在地球上我们可看到月面的59%。

第二节 日食和月食

在地球上经常能见到日食和月食的现象。当月球运行到地球和太阳之间（朔）时，并且这三个天体大体在一直线上，在地球上一定范围内，就能见到月球遮日的现象，即日食。当月球运行到地球和太阳之外侧（望），并且这三个天体大体在一直线上，地球的影子遮住了月球，在地球上见到月食。因为月球公转轨道

面与黄道面呈 $5^{\circ}9'$ 的夹角，即地球、太阳、月球经常不处于同一平面上，所以每个朔望月不一定发生日、月食的现象。

一、日食和月食的形成

1. 月影和地影

月球和地球都是不发光不透明的天体，在太阳光照射下都要产生阴影。月球的阴影落在地球上，在阴影区内部分或全部见不到太阳，便发生日食；地球的阴影落在月球上，月球部分或全部被遮，就发生月食。

阴影有本影、半影和伪本影之分。如图3-11所示，本影是光线完全照射不到的圆锥形最暗区；半影是一侧光线照射不到，而另一侧光线可照射到，在本影周围较暗的区域；伪本影是中心光线照射不到，而四周光线可照射到的较暗区域。

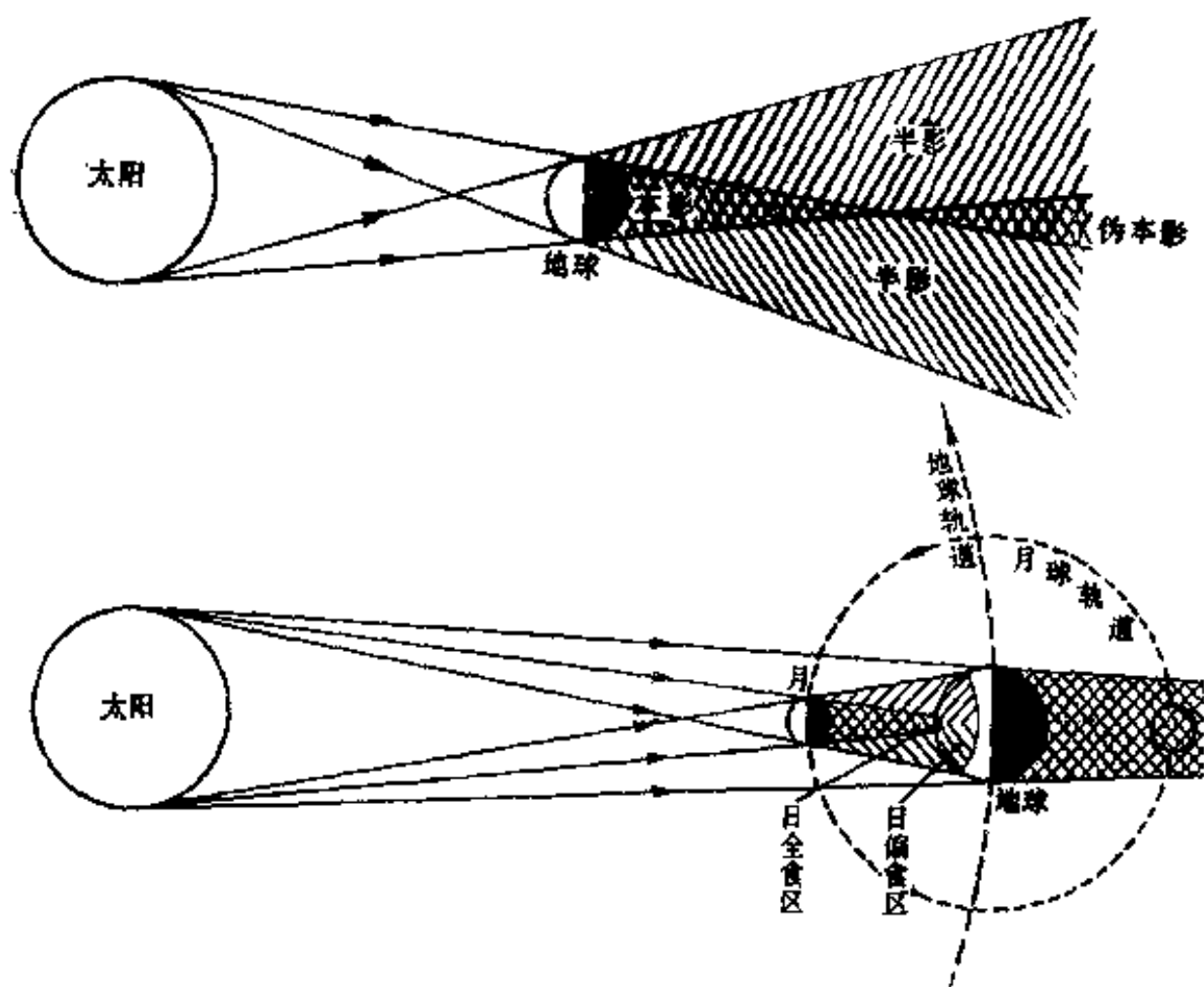


图3-11 本影、半影和伪本影

依相似三角形对应边成比例原理，可求出本影的长度。如图3-12所示，S是太阳，O是地球（或月球），OC为本影长度。做辅助线DO平行于AB，则△BCO与△DOS相似，对应边成比例。

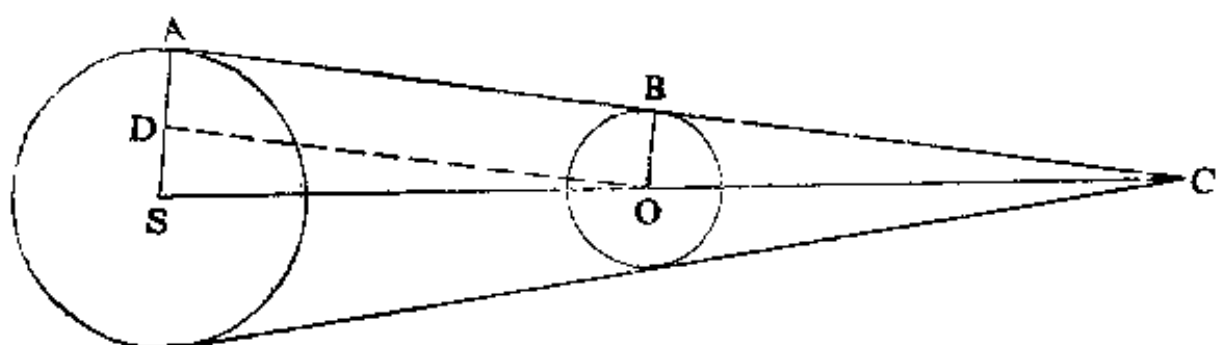


图3-12 本影的长度

$$OC : OS = BO : DS$$

$$OC : OS = BO : (AS - BO)$$

$$OC = \frac{BO \cdot OS}{AS - BO}$$

式中BO为地球（或月球）半径；AS为太阳半径，OS为日地（或日月）距离，将这三个值代入便可求出地球本影（或月球本影）的长度。计算结果如下：

表3-1 地球和月球本影的长度

	地球本影长度(公里)	月球本影长度(公里)
最短	1358900	367000
最长	1404800	379700
平均	1381900	373300

月地最近的距离是363300公里，最远的距离是405508公里，地球本影的长度远大于月地距离。因此，只要月球所处轨道位置

合适，月球就必然在地球本影范围之内，而发生月食。月球本影的长度大于月地最近距离而小于月地最远距离。因此，在月球所处轨道位置合适的情况下，月球又处在近地点附近，月球本影可投射到地球上；若月球处在远地点附近，月球本影不能投射到地球上，只有半影和伪本影落在地球上。

2. 日食形成的条件

朔时月球位于地球和太阳之间，可能发生日食，但不一定发生日食。这是因为白道与黄道并不重合，而是呈 $5^{\circ}9'$ 的夹角。因此，朔时月球有时在日地联线的上方，有时又偏下方，月影落不到地球上，也就不能发生日食。白道与黄道有两点交点——升交点和降交点，这两个交点是月球和太阳都经过的点。如果日月相合（朔）发生在交点上或在交点附近，那么日月就处于一直线上或几乎在一直线上，就会发生日食。

如果在交点上日月相合（朔），同时月球又处在近地点附近，月球的本影就会落在地球上，在地球上月本影范围内看去，日月中心几乎重合，光亮的太阳全部被月球遮住，此时叫日全食；在地球上月半影范围内，只能看到太阳一部分被月球遮住的现象，叫日偏食。

如果在交点上日月相合（朔），月球处在远地点附近，月球的本影达不到地球，而伪本影落在地球上，那么在地球上月伪本影范围内，就会看到太阳中心部分被月球遮住，而四周留下个光环，此时叫日环食。在环食区外围月半影区仍见日偏食。

日全食和日环食又合称为日中心食。

我们知道，太阳和月球的视直径分别为 $32'$ 和 $31'$ 。因此，月球遮日的现象在距交点一定的范围内就可发生。在一个朔望月里，月球要经过升交点和降交点各一次；而太阳在一年里，在黄道上视运动经过升交点和降交点各一次。因此，尽管月球在交点附近的朔日机会较多，但同时太阳也在交点附近的机会并不多见。如

果太阳视位置在交点附近，在一个朔望月内，月球总会运行到交点附近与太阳相合，必定发生日食。所以，发生日食的条件，决定于朔日太阳距交点不能超过一定的角距离。这个角距离，叫做日食限角。

因为月地距、日地距是变化的，所以月、日视直径也在变化。距地近时，视直径大些；距地远时，视直径小些。另外，黄道与白道的夹角平均值是 $5^{\circ}9'$ ，实际上它变化在 $4^{\circ}58' - 5^{\circ}20'$ 之间。由上述这两方面的原因，使得日食限角有个变化范围。根据计算，在日月相合(朔)时，日食限角如表3-2和图3-13所示。

表3-2 日食限角

日食类型	日偏食	中心食
最大限角	$17^{\circ}.9$	$11^{\circ}.5$
最小限角	$15^{\circ}.9$	$10^{\circ}.1$

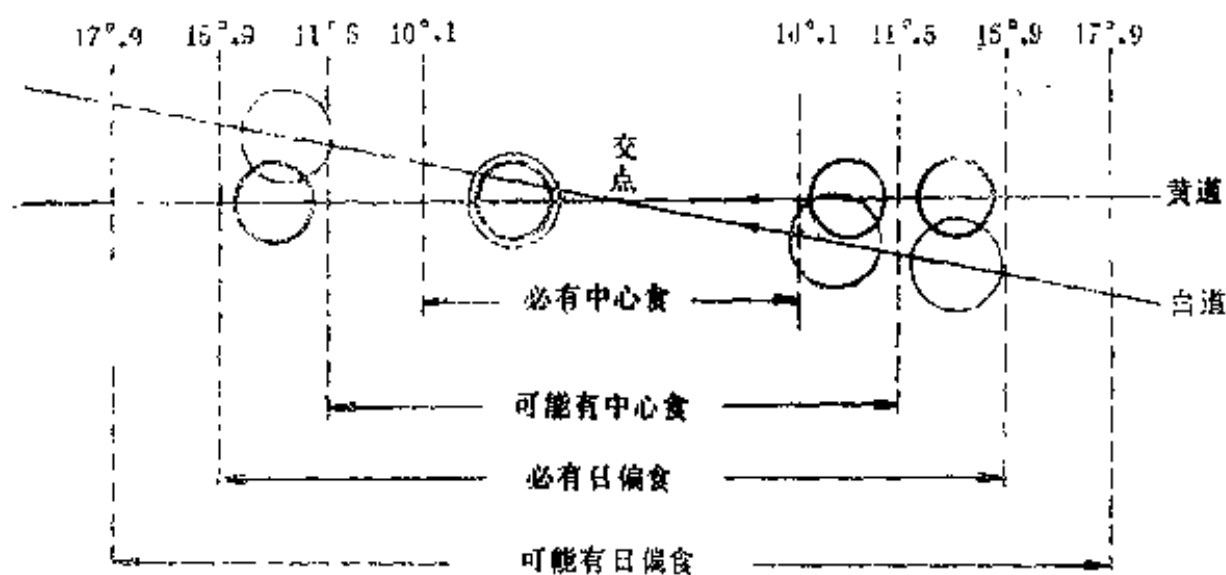


图3-13 日食限角

在朔日时，太阳视位置距交点大于最大限角，则无日食产生；若太阳视位置距交点在最大限角与最小限角之间，则可能有日食，依当时具体情况经计算而定；若太阳视位置距交点小于最小限角，必定有日食产生。

3. 月食形成的条件

和日食形成的条件道理相似，在日月相冲时，并且太阳和月球分别处在交点上成交点附近，月球全部或部分进入地球的本影，就会发生月食。

月食和日食的情况又有不同之处。地球本影长度远大于月地距离，所以没有月环食形成的条件，不可能形成月环食。当月球全部进入地球本影内，发生月全食。月全食时并非完全看不见月球，月面呈现为一个暗铜红色的圆盘。这是由于地球大气层对太阳光中红光部分的吸收能力差，将通过大气层的大部分红光折射到月面上所造成的。当月球的一部分进入地球本影内，发生月偏食。整个月球进入地球半影内，其亮度有所减弱，但肉眼很难察觉，不算做月食。

由于月球视直径和地球圆锥形本影在月球轨道上断面直径的存在，同日食限角的道理一样，发生月食的条件，决定于望日太阳距交点不能超过一定的角距离，这就是月食限角。根据计算，月食限角的变化范围如表3-3和图3-14所示。

表 3-3 月食限角

月食类型 食限角	月偏食	月全食
	最大限角	11°.9
最小限角	10°.0	4°.1

在望日时，太阳视位置距交点大于最大限角，则无月食产

生；若太阳视位置距交点在最大限角和最小限角之间，可能发生月食，有无月食则依当时具体情况，经计算而定；若太阳视位置距交点小于最小限角，必定有月食发生。

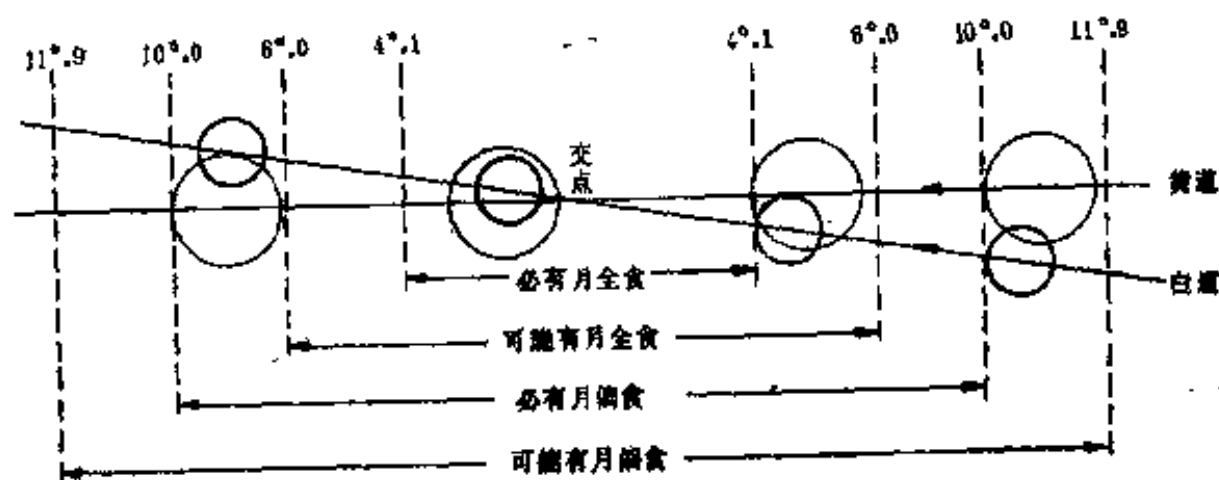


图3-14 月食限角

比较日食限角和月食限角可以看出，日食限角大于月食限角。因此发生日食的机会多于月食。但我们实际生活中见到的却是月食多于日食，这又是如何形成的呢？日、月食的发生是一回事，而我们在一定地区内是否能见到是另一回事。也就是说，尽管日食发生的次数多于月食，但是在地球上能看到日食的范围很小，而能看到月食的范围很大。因此，对一个固定地区来讲，见到的却是月食多于日食。具体地讲，日全食时，月球本影在地球表面的截面（即全日食区）直径最大不超过268公里，而本影相对于地面的最小速度为0.581公里/秒。所以，对于某一固定的观察者来说，观测日全食的最长时间仅7分41秒，一般只二三十分钟。日环食时，月球伪本影在地球表面的截面（即日环食区）直径最大为376公里，观测日环食最长时间为12分20秒。日偏食时，月球半影在地球表面的截面（即日偏食区）最大直径为7346公里，观测的最长时间可达3小时30分43秒。对月食来讲，地球本影在月球轨道处的截面平均直径为9212公里，约相当于月球直径的2.7倍，一个固定

的观察者，观测月全食的最长时间可达3.5小时，且一旦发生月食，朝向月球的半个地球上的观察者全都能见到。因此，对地球某一固定地区的观测者来讲，见到月食的机会多于日食，特别是日全食更是罕见。

二、日食和月食的过程

1. 日食的过程

月球在白道上公转的角速度平均为 $13^{\circ}12'/\text{日}$ ，太阳视行在黄道上的角速度平均为 $59'8''/\text{日}$ ，它们都按逆时针方向运动，所以日食过程就是在交点附近日食限角范围内，月球赶上并超过太阳的过程。

一个完整的日全食过程可分为五个阶段（图3-15上图）。当月球（月影）从后边赶上太阳时，月球（月影）恰好和日面西边缘相外切，此时正是日食的开始，叫初亏；日、月继续东行，但月走得快，使月遮掩日面的范围不断扩大，当达到日面东缘与月面东缘相内切时，日面全部被遮掩，此时叫食既；当日面与月面中心相合时，叫食甚；当日面西边缘与月面西边缘相内切时，日全食即将结束，叫生光；当月面完全超过日面，月面西边缘与日面东边缘相外切时，日食全部结束，叫复圆。

日偏食的全过程只包括初亏、食甚、复圆三个阶段（图3-15下图）。

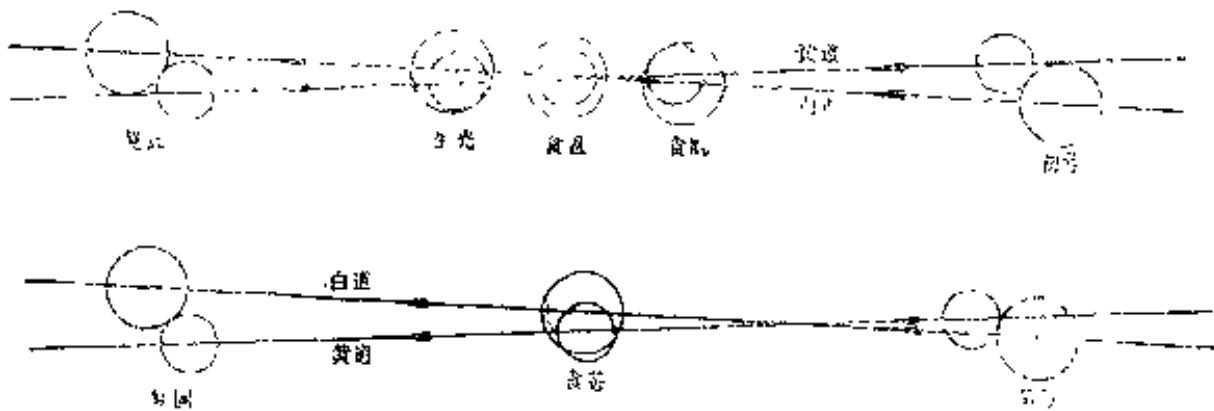


图3-15 日食过程

2. 月食的过程

月食的过程是明亮的月面进入地影的过程。月全食也分五个阶段。月面和地球本影都自西向东移行，当月面赶上地球本影时，月面东边缘与地球本影西边缘相切时，月食即将开始，叫初亏，初亏后，月面逐渐淹没在地球本影之中，当月面西边缘与地球本影西边缘相切，月面完全被地球本影所遮时，叫食既；当月面中心与地影中心距离最近时，叫食甚；月面在地影中继续向东移行，当月面东边缘与地影东边缘相切时，月食即将结束，叫生光；明亮的月面逐渐从地影中露出，当月面西边缘与地影东边缘相切，明亮月面完全脱影而出，叫复圆（图3-16上图）。

月偏食过程只包括初亏、食甚、复圆三个阶段（图3-16下图）。

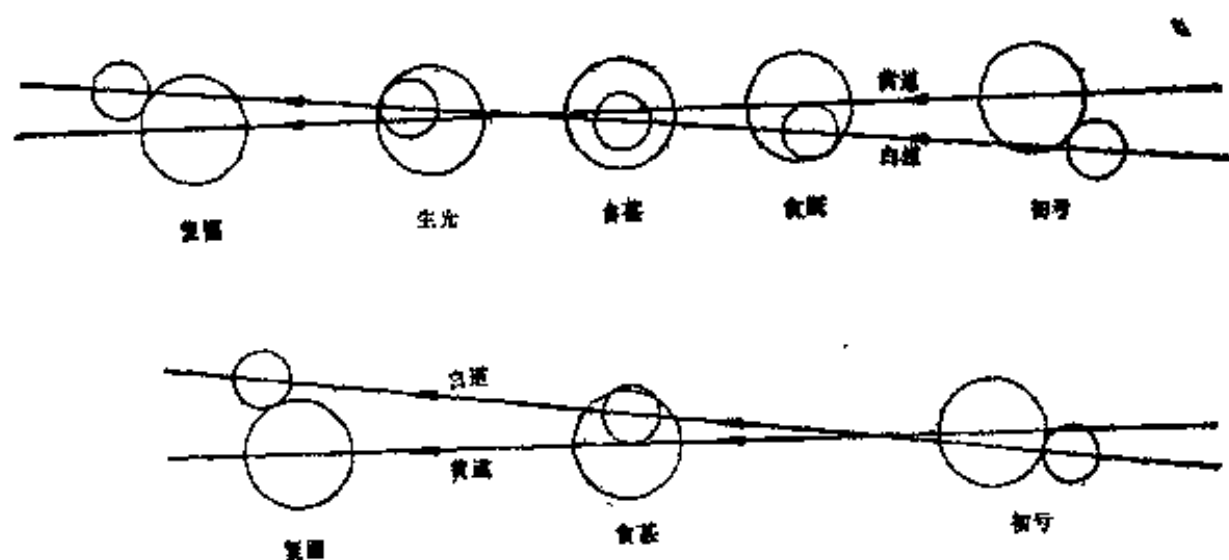


图3-16 月食的过程

日食和月食的过程很相似，但它们的具体表现又有不同。日食是日被月所“食”，月移行快，先“食”日的西部，逐渐全部吞没，复圆时日食结束于日面东部；月食是月被地影所“食”，月进入地影被“食”，开始于月面东部，而复圆结束于月面西部。

3. 食分

在有日、月食时，为了表示日、月被食的程度，而采用“食分”。食分的确定是以食甚时为标准，以太阳或月球的视直径

为1，在食甚时，被遮了十分之几，即为食分值。如食分为0.5，表示日面或月面食甚时被遮去1/2，说明是日偏食或月偏食。若食分为1，表示日面或月面全部被遮，即是日全食或月全食。在同一次日食中，不同地区见食情况不同，食分也不一样。而在同一次月食中，各地见食情况相同，食分一样。

三、日、月食的周期

1. 食季

日、月食的形成条件是月球和太阳必须同时位于黄白交点或其附近。把日、月同时位于交点或其附近的这段时期，叫做食季。大约每半年包括一个食季。

因为白道是变动的，交点的位置每年在黄道上自东向西移动约 $19^{\circ}.4$ 。太阳在黄道上运行是自西向东，即与交点相向而行。如果以升交点(或降交点)做为太阳运行一周的参考点，那么太阳运行一周的角度为： $360^{\circ} - 19^{\circ}.4 = 340^{\circ}.6$ ，其周期为346.62日，叫做一个食年。它比回归年约短19天。所以，日、月食发生的时期平均每年约提前19天。

一个回归年为365.2422日，在一个回归年内至少包括两个食季。如果第一个食季发生在年初，第二个食季发生在该年中间，那么在年底就可发生第三个不完整的(也就是跨年的)食季。所以，一年最多可包括2个多食季。

食季的长短主要决定于两个因素：食限角的大小和太阳相对于交点移行的角速度。日食限角和月食限角如前所述。太阳相对于交点移行的角速度由两部分组成：交点在黄道上自东向西每日移行 $0^{\circ}.053$ ($19^{\circ}.4/365.2422$ 日)与太阳在黄道上自西向东每日移行 $0^{\circ}.9856$ ($360^{\circ}/365.2564$ 日)，两者之和即为太阳相对于交点每日在黄道上移行的角度，其值为： $0^{\circ}.053 + 0^{\circ}.9856 = 1^{\circ}.0386$ 。根据食限角的大小和太阳移行角速度，便可求出其食季长短。如：日食最大限角 $17^{\circ}.9$ ，即太阳距交点前后各 $17^{\circ}.9$ ，总计范围

为 $35^{\circ}.8$ ，在此范围内日月相合，可能发生日食。太阳移行此范围需要 $35^{\circ}.8 \div 1^{\circ}.0386 = 34.47$ 日，这是食季可能的最长时期。对于日食最小限角 $15^{\circ}.9$ 来讲，太阳移行 $31^{\circ}.8$ 的范围所需时间为： $31^{\circ}.8 \div 1^{\circ}.0386 = 30.62$ 日，这是食季最短的界限。30.62日大于一个朔望月（29.5306日），即在30.62日内至少有一次日月相合，多则有两次日月相合。那么，在一个食季里少者发生一次日食，多者发生两次日食。

月食的最大限角是 $11^{\circ}.9$ ，最小限角是 10° ，太阳移行 $23^{\circ}.8$ 和 20° 的范围所需时间分别为：22.92日和19.26日。它们都小于一个朔望月，即在一个食季里，最多只有一次望，最少没有，那么，一个食季内最多有一次月食，或者无月食。

总合日月食发生的情况，在一个食季里最多可发生两次日食一次月食，最少只发生一次日食。

在一年里若包括两个食季，最多可发生6次见食现象（4次日食2次月食），最少可发生2次见食现象（2次日食）。如果一年内包括两个多食季，则最多可发生7次见食现象（5次日食2次月食或4次日食3次月食）。

2. 日、月食的周期

古代巴比伦人最早发现日、月食的周期，称沙罗周期。巴比伦文“沙罗”原意为“恢复”、“重复”之意。

每次日、月食出现后，经过 $6585\frac{1}{3}$ 日，月球、太阳和升、降交点几乎又回到原来的相对位置，前一周期内的日、月食重复出现。这是因为 $6585\frac{1}{3}$ 日大致等于朔望月、食年、交点月、近点月的最小公倍数，其值如下：

$$223\text{个朔望月} = 6585.32157\text{日}$$

$$19\text{个食年} = 6585.78057\text{日}$$

$$242\text{个交点月} = 6585.35724\text{日}$$

$$239\text{个近点月} = 6585.53745\text{日}$$

所以，沙罗周期值为 $6585\frac{1}{3}$ 日，折合18年 $11\frac{1}{3}$ 日，如果此期间有5个闰年，就为18年 $10\frac{1}{3}$ 日。一个沙罗周期内平均有71次交食，其中包括43次日食，28次月食。由于沙罗周期不是个整数，所以见食的地点和成食状况，在下一个周期里会有所变化。日、月食的周期，只能告诉我们日、月食发生的规律及其大概日期和情况，它不能代替日、月食的精确预报。

四、观测日、月食的意义

1. 观测日食的意义

日全食时是直接摄取色球、日珥、日冕景象及其光谱最好的时机，通过对它们的分析可以了解太阳大气的组成、温度、结构以及太阳活动等状况。1868年日全食时，通过谱线分析，首先发现了氦。而27年之后才在地球上发现氦元素。后来，通过对日全食日冕光谱研究，发现等离子体的存在，并推断日冕温度高达100万度。太阳的结构、组成以及许多现象，只有借助于日食时所造成的这种特殊的天然物理实验室，才能进行研究。而对于太阳和太阳活动的了解，对在地球上生活的人类具有重要意义。

过去人们只知道光的直线传播性质。爱因斯坦提出相对论后，预言光线在经过太阳旁边时发生弯曲，好象光被太阳所吸引一样，当然这种弯曲是非常微小的。这种实验在地球上实验室里无法进行，只有在日全食时，太阳周围天空变暗，对经过太阳附近星光的观测才能进行，并且证实了爱因斯坦的预言是正确的。

通过对日食过程各阶段发生的时刻和方位的测定，可以检查并发现月、地轨道的变动。

日食时也是搜寻在水星轨道以内太阳附近有没有行星或其它天体存在的最好时机。

2. 观测月食的意义

月食时，观察铜红色月面，拍摄并分析其光谱，可以研究地球不同高度的大气的组成状况、透明性及对光的折射性。测量不

同食分时月面热辐射的分布，可以判定月面的吸热率和温度。

第三节 天文潮汐

一、潮汐及其类型

1. 潮汐概述

由于月球和太阳对地球各处引力不同所造成的海洋水面周期性的涨落现象，称为海洋潮汐。一般所说的潮汐，都指海洋潮汐而言。对固体地壳来说，有固体潮汐，对大气来讲，有大气潮汐。但它们都远不及海洋潮汐显著。

习惯上把白天的涨潮现象称为潮，夜间的涨潮现象称为汐，合称潮汐。

潮汐所表现的海水周期性的涨落，在垂直方向上表现为潮位周期性的升降；在水平方向上表现海水周期性的流动，称为潮流。当海水滚滚而来水面上涨时叫涨潮；海水后退下降时叫落潮。海水在垂直方向升降时的水位叫潮位。海水升得最高时叫高潮，降得最低时叫低潮。当海水上升到最高限度时，维持一个暂短时间，海面不涨不落，水位比较平稳，这种现象称为平潮。平潮时的潮位高度，即高潮时的潮高，称为高潮高。当海水降到最低限度时，维持一个暂短时间，海面不涨不落，水位比较平稳，这种现象称为停潮。停潮时的潮位高度，称为低潮高。高潮高与低潮高之差叫潮差。

2. 潮汐的类型

地球上的潮汐是由月球和太阳的引力作用而形成的，而月球的引潮力约为太阳的2.18倍，所以潮汐现象主要随月球的运行而变化。

月球在白道上运行自西向东每天约 $13^{\circ}.2$ 。地球自转若以月面中心为参考点，其周期为24小时50分，称一个太阴日。太阴日

比太阳日长50分钟，是因为地球多自转 $13^{\circ}.2$ 所造成的。

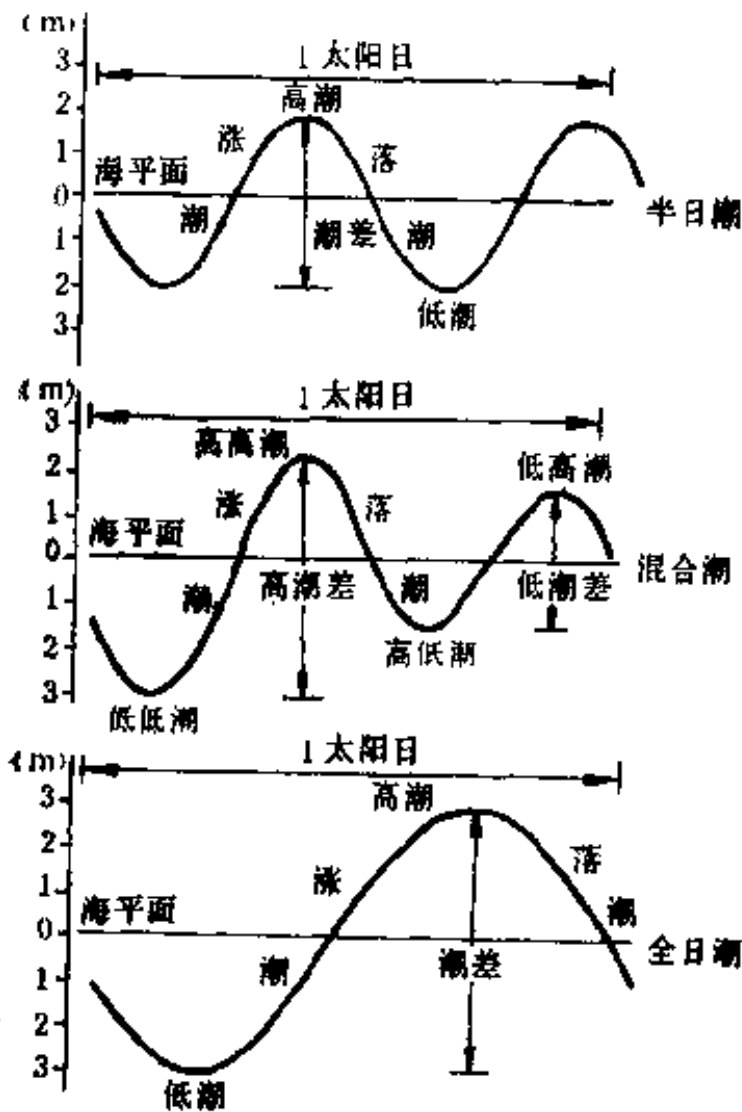


图3-17 潮汐类型

在一个太阴日里，根据海水的涨落现象，可把潮汐分为半日潮、全日潮和混合潮三种类型（图3-17）。

潮汐的平均周期，即上一次高潮或低潮至下一次高潮或低潮间隔的平均时间，为12时25分，叫半日潮。在一个太阴日内出现两次高潮，两次低潮。潮汐的涨落除受月球、太阳引力作用外，还受地理纬度、海洋地形和海水深度等因素的影响。有的地区是每日（太阴日）升降一次的全日潮，有的

的地区是每日（太阴日）升降两次和一次混杂出现的混合潮。

根据潮高又可分为大潮和小潮。在朔望月里的朔和望时，由于月球和太阳的引潮力的作用最大，从理论上讲，此时海面升降最大，称为大潮。事实上，各地受其他因素影响，大潮不一定见于朔、望日，一般延迟二三天。所以民间有“初三水，十八潮”的谚语，即指大潮。在上弦和下弦日期，由于月球和太阳的引潮力的作用互相抵消，从理论上讲，此时海面升降最小，称为小潮。实际上，受其他因素影响，小潮往往见于上弦和下弦后二三日。

二、潮汐的形成

1. 前提条件

在讨论地球、月球运动过程中，太阳与地球之间的引力，地球与月球之间的引力都是把它们各自作为整体来处理的，现在讨论地球上的潮汐现象时，地球的大小和形状不可忽略。在考虑地球形状和大小的条件下，分析月球、太阳对地球上各点的引力差异所导致的潮汐现象。

为了使问题简化，突出讨论天文潮汐的形成，即只考虑天体引力和天体运动所形成的潮汐，暂不考虑地球表面海陆分布、地形等因素对潮汐的影响。也就是在假定地球表面完全被海水覆盖的情况下，分析潮汐的形成。

月球和太阳对潮汐的形成都起一定的作用，但月球更占重要地位。由月球作用引起的潮汐称为太阴潮，由太阳作用引起的潮汐称为太阳潮。在形成原理上它们是相同的，所以下面主要讨论太阴潮的形成。

2. 引潮力（起潮力）

引潮力就是在地球上引起潮汐现象的力，它就是单位质量物体所受月球（或太阳）的引力和地球绕地月（或地日）公共质量中心运动所产生的惯性离心力的合力（图3-18）。

在地月系内，地球绕地月公共质心运动，在地球上的不同位置，所产生的离心力都是大小相等，方向又相互平行的（都与公共质心反向）；而月球与地球相对位置的改变，地球上的不同位置与月球的距离不断改变，则月球引力大小也随之变化。如图3-18所示，B点正对月球叫正垂点，离月球最近，月球引力最大，起支配作用，它与离心力的合力是向上的；D点背对月球叫反垂点，离月球最远，月球引力最小，离心力起支配作用，合力方向也是向上的。这样，以正垂点和反垂点为中心，形成两个海水水位特高的地区，出现高潮，正垂点的高潮称顺潮，反垂点的高

潮称对潮。A点和C点，合力方向都是向下的，形成低潮。其他各点引力与离心力合力的方向分别指向正垂点和反垂点。这样，连结全球各点引潮力形成一个椭圆，叫做潮汐椭圆。潮汐椭圆决定了全球潮汐分布状况。地球自转一周，地球上各地都有经过A、B、C、D等点的机会，即出现高潮、低潮的现象。对某一具体地点来说，在一个太阴日里，一般将出现两次高潮，两次低潮，这就是半日潮。

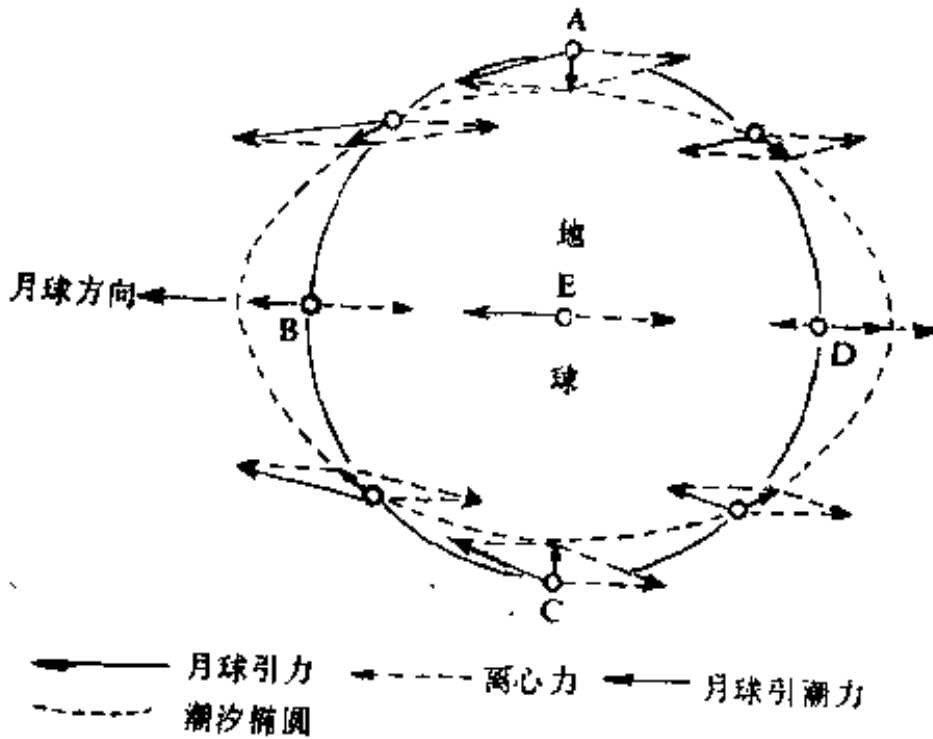


图3-18 月球引潮力的分布

如果月球的赤纬永远为 0° ，即在赤道面上，那么，地球上除两极之外都出现半日潮。实际上月球的赤纬是在 $+28^\circ 35'$ — $-28^\circ 35'$ 之间变动的，在一个月（交点月）里，月球只有两天赤纬为 0° ，其他时间都不为 0° 。潮汐周期随月球的赤纬和地理纬度而改变。概括地讲，赤道附近为半日潮，中纬地区为混合潮，极地附近的高纬地区为全日潮。

3. 大潮和小潮

地球上的潮汐现象，是月、日引潮力共同作用的结果。月球

和太阳对地球表面的引潮力，与它们各自的质量成正比，与它们各自和地球的距离立方成反比。太阳质量约为月球质量的2700万倍，日地距离约是月地距离的390倍。从质量对比来看，太阳引潮力是月球引潮力的2700万倍；从距离对比来看，月球的引潮力是太阳引潮力的 390^3 倍，即约5900万倍。因此，太阳引潮力与月球引

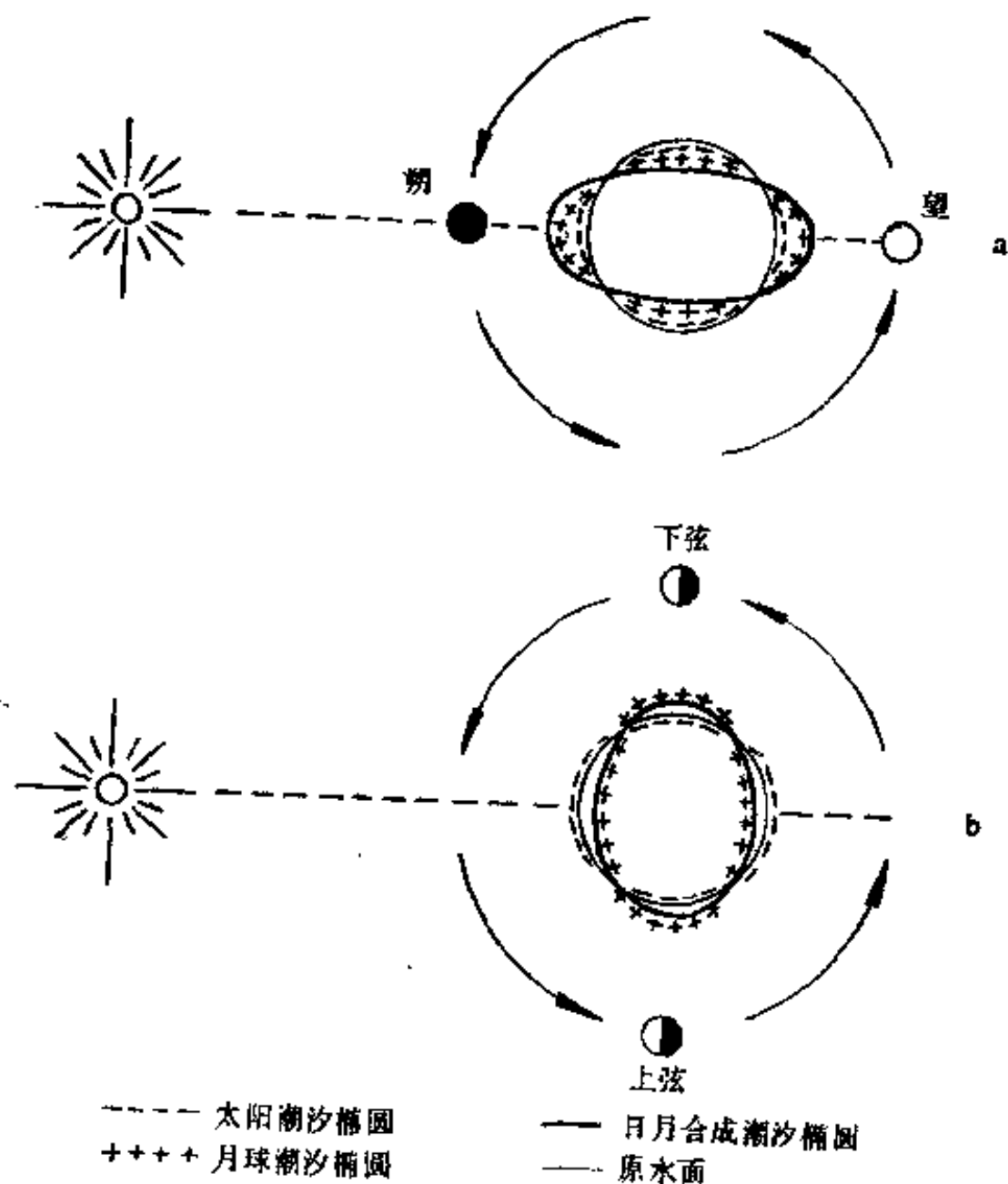


图3-19 大潮(a)和小潮(b)

潮力之比为1 : 2.18, 即太阳引潮力不到月球引潮力的一半。

在朔望月里，每逢朔日和望日，日、月引潮力方向一致，太

阴潮和太阳潮迭加在一起，高潮最高，低潮最低，潮差也最大，形成大潮；每逢上弦和下弦时，日地与月地的相对位置成直角，太阴潮和太阳潮交错干扰，造成高潮不太高，低潮不太低，潮差最小，形成小潮（图3-19）。

三、海洋潮汐

如前所述，太阴潮和太阳潮都是天文因素所致，所以又叫天文潮。它们既有太阴日的变化周期，又有朔望月的变化周期。每个周期内月地距、日地距和月球、太阳的赤纬也是随时变化的，所以潮汐现象也各有差异。通过精确的计算，可以做出潮汐预报。

海洋的潮汐现象是个综合的现象，天文潮汐起着主导作用，同时也受其他因素的影响。由于风的应力和气压变化对海水的作用，引起海面的涨落，叫气象潮。特大的气象潮是由强烈的风暴引起的，海面急剧升高，可达数米，往往危害沿海地区人民生命和财产安全。这种现象又称风暴潮或风暴海啸。如果风暴潮来临之际，正是朔望之时，与天文潮相迭加，海水涨落迅猛异常，危害更大。

我国浙江省杭州湾钱塘江口的钱塘潮闻名于世。每年农历8月18在海宁县观潮最为壮观。因这里海湾广阔，而河口逐渐变浅变窄，潮波传播受阻被迫升高，形成特大涌潮。涌潮出现时，潮头壁立，滚滚波涛卷起千堆雪，又如万马奔腾，成为自然界一大奇观。潮头高可达3.5米，潮差可达8.9米。

本章总结

除太阳之外，月球是与地球关系最密切的天体。月球是人类迈入宇宙的第一个基地，是揭开天体之谜的第一个太空实验室，研究和了解月球，对天体的起源和演化、天体的结构等重大理论问题，具有重要意义。

月球和地球的年龄几乎相同，但它们的面貌差异很大，月球表面没有大气和水，是个无生命的世界。

在地球上观察，伴随着月相盈亏，海洋潮汐也在有规律地变化着，在一些特殊的日子还能见到日、月食现象，这些现象都是日月会合运动的结果。

复 习 题

1. 把月球做为我们的航天基地有什么优点？为什么？
2. 对比地球和月球表面环境有何异同？
3. 对比说明月球、太阳赤纬的变化及其周期。
4. 月球出没的时间为什么逐日推迟50多分钟？
5. 绘图说明日月会合运动的过程和周期，并解释月相成因。
6. 为什么在地球上只能见到月球固定的半面？
7. 说明日、月食形成的条件。
8. 概述日、月食的类型和成食过程。
9. 为什么发生日食的机会比月食多？而我们见到的又是月食多于日食？
10. 概述在一日(太阴日)和一月(朔望月)里潮汐变化的过程。
11. 绘图说明天文潮汐是如何形成的。

第四章 时间和历法

运动是物质存在的基本形式，而运动的本质是空间和时间的直接统一。物质的运动永远是在空间和时间中进行的。所以时间是物质的基本属性之一。

利用年、月、日进行较长时间间隔的计量；利用时、分、秒进行较短时间间隔的计量。通常所说的时间是指日以下的时、分、秒的计量；历法是指日以上的年、月、日的安排。随着现代科学技术的发展，现在在计量极短的时间间隔方面，已经精确到亿万分之一秒，而在计量长的时间间隔方面，则可达到几十亿年前古老的地质年代。

自古以来，人们过着“日出而作，日落而息”，“春种，夏锄、秋收、冬藏”的生活，很自然地把人类生活生产与天体运行规律结合起来。天体运行周期是人类最早，也是最基本的计量时间的依据。

第一节 时 间

一、概述

1. 时间的含意

通常所说的时间，有两种含意。一是表示时间间隔，即时间的长短。如某一运动物体由甲地到乙地需时间长短为1小时。二是表示时间的迟早，即运动状态的瞬间。如运动物体由甲地11时出发，12时到达。

2. 时间计量的条件

时间和运动相联系着，因此计算时间必须选定在一定条件下的运动物体。“一定条件”是指运动必须具有稳定的周期。以物体运动的稳定周期作为计量时间的单位，才能保证时间的“稳”与“准”。

如前所述，地球的公转、自转和日、月的会合运动都具有稳定周期的特征。地球公转形成季节交替的周期——年；地球自转形成昼夜交替的周期——日；日、月会合运动形成月相变化的周期——朔望月。很早以来它们就已成为计量时间的单位。随着社会的发展，生产和科学技术水平的不断提高，人们需要更精确、更短的计时单位。人们发现了摆动的稳定周期特性，后来又发现了电振荡的稳定周期特性，利用这些特性，相继制造了机械钟表和电子表，这就产生了更精确的计时单位——时、分、秒。

二、真太阳时和平太阳时

1. 真太阳时

太阳的周日运动与人类活动密切相关，按太阳周日运动建立的计时系统，即真太阳时、真太阳分、真太阳秒。真太阳时也简称为真时或视时。

视太阳圆面中心在天球上连续两次由东向西通过某一子午线的时间间隔，即为一个真太阳日。一个真太阳日等分为24个真太阳时，一个真太阳时等分为60个真太阳分，一个真太阳分等分为60个真太阳秒。为了和人们的生活习惯一致，把真太阳中心在下中天（子夜）的时刻作为一个真太阳日的开始，即为真太阳时的0时。

在时角坐标系中，用时间为单位来表示真太阳视面中心时角的大小，即为真太阳时。因为在时角坐标系中时角是由上中天开始起算，而真太阳时是由下中天开始起算。所以它们相差12时，即时角加上12时等于真太阳时。

2. 真太阳时不等长

在第二章中已经谈到地球自转的周期——恒星日和太阳日。恒星日是地球自转的真正周期，即自转 360° 的时间间隔。而太阳日的计量不仅考虑地球自转，而且还要考虑地球公转的影响。由于地球公转轨道是个椭圆，公转的速度是变化的，地球在近日点时公转速度快，角速度为 $1^\circ 1' 11''/\text{日}$ ；在远日点时公转速度慢，角速度为 $57' 11''/\text{日}$ 。因此，在近日点时，太阳日为地球自转 $360^\circ + 1^\circ 1' 11'' = 361^\circ 1' 11''$ 所需的时间间隔；在远日点时，太阳日为地球自转 $360^\circ + 57' 11'' = 360^\circ 57' 11''$ 所需的时间间隔。所以，地球在近日点附近时，太阳日长；在远日点附近时，太阳日短，最长和最短相差51秒。由于太阳日（此处指真太阳日）不等长，以其为依据的真太阳时也必然不等长。

其次，计量真太阳时是在时角坐标系中用视太阳中心的时角来衡量的，而时角的确定是在天赤道上进行。但是，视太阳的运行是在黄道上，假如视太阳在黄道上运行是匀速的，因为黄道与天赤道不是平行的，而是呈 $23^\circ 26'$ 的交角。那么它在天赤道上对应的时角变化也是不均匀的，即真太阳时不是常量，而是变量。

由于上述两个原因造成真太阳时不等长，因此，尽管真太阳时与人类活动密切相关，但用其作为计时单位有不妥之处。

3. 平太阳时

为了消除地球椭圆轨道和黄赤交角所造成的真太阳时不等长的影响，人为地假设在天球上有一平太阳。平太阳是在天赤道上作匀速运动，其速度等于真太阳在黄道上运行的平均速度。

平太阳在天球上连续两次由东向西通过某一子午圈的时间间隔，称为一平太阳日。一个平太阳日等分为24个平太阳时，1个平太阳时等分为60个平太阳分，1个平太阳分等分为60个平太阳秒。

平太阳时是稳定的等长的计时单位，目前得到广泛应用。日常钟表所指示的时间，都是指平太阳时而言。

4. 时差

平太阳是我们假设的天体，所以平太阳时我们无法直接测定，只能靠间接的办法求得。时差就是真太阳时与平太阳时之差，即：

$$\text{时差} = \text{真太阳时} - \text{平太阳时}$$

时差不是个固定值，随日期而改变，有时为正，有时为负（图4-1）。在《天文年历》

“太阳表”中可查到每天时差的数值。在一年里，时差有4次为零，它们分别出现在1月16日、6月15日、9月2日和12月25日的前后；有4次极值，2月12日前后为 $-14^m.4$ ，5月15日前后为 $+3^m.8$ ，7月27日前后为 $-6^m.3$ ，11月4日前后为 $+16^m.4$ 。

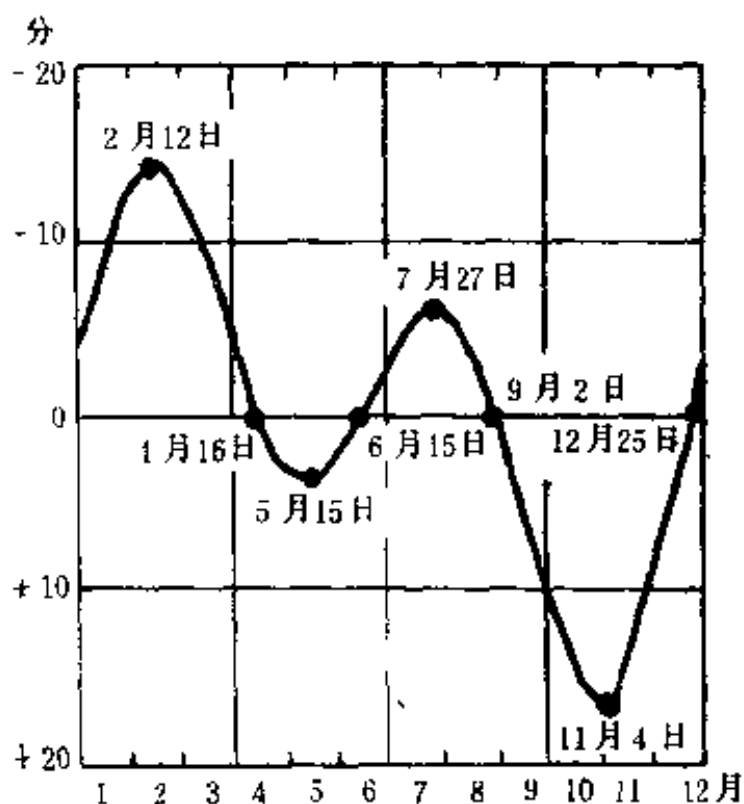


图4-1 时差曲线

在实际测时工作中，准确的真太阳时很难测出，因为视太阳中心精确的时角不易测到。真太阳时是由测定恒星时，再经过换算得到的。再由真太阳时和时差，即可求出平时。

三、地方时和区时

1. 地方时

计量时间都是以天体（恒星和太阳）的时角为依据的，而天体的时角都是以观测点的子午圈为起算点的，即同一天体因观测点的子午圈不同（地理经度不同）其时角也不同，因而不同观测

点便有不同的时间。所以时间具有地方性，因地制宜。这种因观测点经度差异而造成的不同时间，称为地方时。

同一经度上的观测点，地方时相同，不同经度上的观测点，地方时不同，经度差 15° ，地方时相差1小时，经度相差 360° ，地方时差24小时，即相差1天（图4-2）。

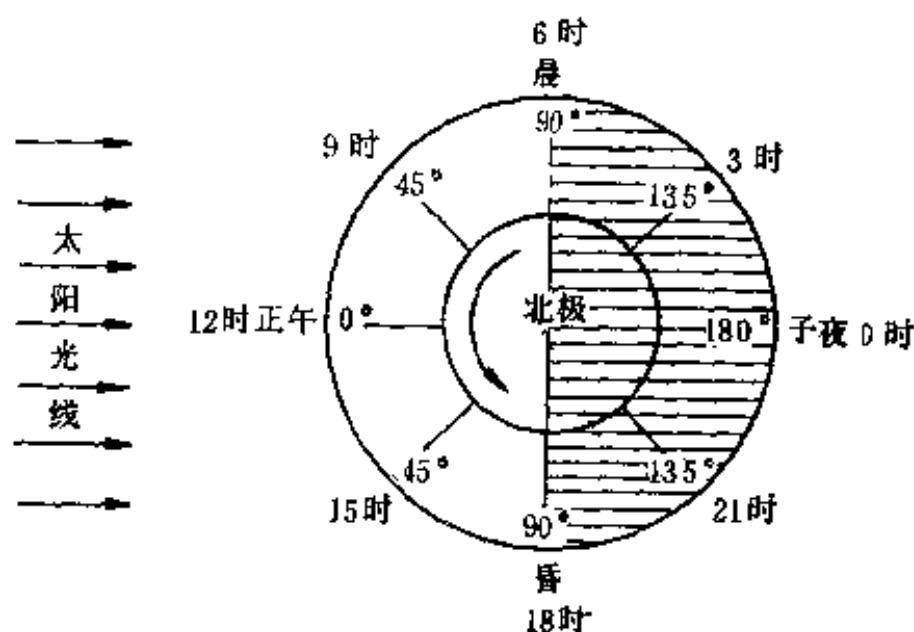


图4-2 不同经度的地方时

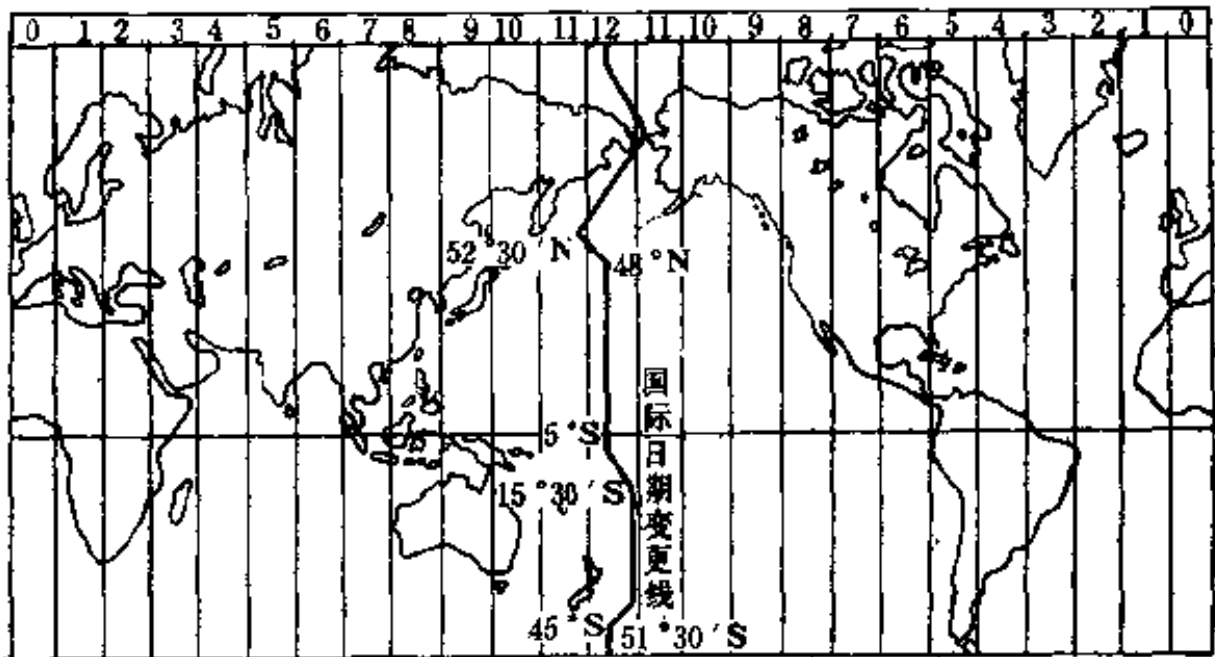
地方时对当地的生活生产活动是相适应的。太阳位于上中天时为正午12时，位于下中天时为子夜零时。但是，在人类交往频繁的当今社会里，地方时各地不统一，使用就很不方便。

2、区时（标准时）

19世纪以来，为适应日益频繁的国际贸易和交往的需要，必须进一步协调地方时，采用国际统一的时间计量。1884年在华盛顿举行的国际子午线会议上规定，全世界按统一标准划分时区，实行分区计时制。

按规定，将全世界划分为24个时区，每一时区东西宽经度 15° 。以英国伦敦格林威治天文台（旧址）所在的子午线作为时间和经度计量的标准参考子午线，称其为本初子午线，即经度零度线。本初子午线的地方平太阳时，即为格林威治时间，又称世界时。从

本初子午线开始，分别向东向西每隔 15° 确定一条经线为标准时线，即东经 15° 、 30° 、 45° …… 180° 和西经 15° 、 30° 、 45° …… 180° 。在标准时线东西各 7.5° 的经度范围内属于同一时区。在同一时区内，都采用本区标准时线的地方平太阳时作为全区的统一时间，称为区时，又称标准时。本初子午线的时区为零时区，向东依次为东1区、东2区、东3区……东12区；向西依次为西1区、西2区、西3区……西12区。东西12区都是半个时区，共同以 180° 经线为标准时线（图4-3）。相邻的两个时区的区时相差1小



1-3 世界时区和日界线

时，而分、秒相同。不相邻的两个时区的区时差为两个时区的区号差（单位为小时）。如东8区与东5区的区时差为3小时。依东早西晚的原则，位置偏东时区的区时偏早，位置偏西时区的区时偏晚。东8区若为上午10时，东5区则为早晨7时。

地球是个球形，东与西只能相对而言，不存在位置最东时间最早的界线。那么，一天究竟由何地开始呢？国际上规定，把经过太平洋的 180° 经线（避开岛屿）作为国际日期变更线，简称日界线。日界线以东为西12时区，以西为东12时区，它们的时间相

同,日期相差一天,即东12区比西12区早一天。因此,航行时由日界线以西穿越日界线,到西12区时,日期要减少一天。若相反方向航行,日期要增加一天。例如,由中国到美国作横渡太平洋的航行,8月2日12时由日界线以西穿越到以东,则日期应调整为8月1日12时,也就是说,8月1日12时到8月2日12时这一天是重复度过的。由美国返航时9月2日12时由日界线东到日界线西,这时应调整日期为9月3日12时,也就是说,9月2日12时到9月3日12时这一天没有度过,少过了一天。

时区的界线和日界线从理论上讲是以经线为界的。在实际上,还要考虑到政区界线、经济状况等因素。为了照顾实际使用的方便,它们也是有弯曲的,与理论上略有不同。目前大多数国家都采用以区时为单位的标准时,它们与世界时相差整小时数。有的国家根据自己的实际情况,而采用半时区制,如印度比世界时早5个半小时,伊朗比世界时早3个半小时,而委内瑞拉比世界时晚4个半小时,圭亚那晚3个半小时。

我国地域辽阔,东西所跨经度达 62° ,分属5个时区。为了政治、经济等方面活动的方便全国都采用“北京时间”。北京时间并不是北京的地方平太阳时,而是北京所处的东8区的区时,即东经 120° 的地方平太阳时。这就是我国的标准时。

地处中纬度的许多国家为适应夏季昼长夜短的状况,做到充分利用日光,节约能源,而采用夏时制,或称夏令时、经济时,又称法定时。一般在4月到9月实行夏时制,在此期间将钟表拨快一小时。各国情况不同,实行夏时制的日期也不一样。早在1916年德国就开始实行夏时制,当年节约能源价值达两亿马克。现在欧洲各国、苏联和美国等都实行夏时制,我国于1986年也实行了夏时制。我国夏时制的起止时间确定为:4月中旬的第一个星期日凌晨2时开始(届时将时针拨到3时),9月中旬的第一个星期日凌晨2时结束(届时将时针拨到1时)。夏时制对高纬度和低纬

度国家意义不大，因为高纬地区夏季白天特别长，晚上特别短；而低纬地区夏季白天和夜晚相差又不大。

四、时间计量的发展

前面所述的真太阳时和平太阳时，都是以地球的公转和自转为基础的。但是，公转和自转都不是匀速的。地球自转不但有长期的变化，也有短期的不规则变化，表现在每过几十年自转速度发生一次“跳动”，有几年转得快些，有几年又转得慢些。从长期变化来看，最近2000年以来，每过100年，使日长增加达1.6毫秒，即地球自转有变慢的趋势。

随现代科学技术的发展，对时间精度要求越来越高。比如雷达测距，它实质上是通过测时来测距的。因为无线电波传播的速度是每秒30万公里，如果时间出现0.1秒的错误，测距误差就是 1.5×10^7 米，即1500万米。而目前利用激光测量月球距离（原理同雷达测距），误差只有几厘米，这就要求时间的误差不能超过 1×10^{-10} 秒。在宇航事业中，高度精确的时间是必需的，否则就会差之秋毫，谬之千里。

地球公转一周是一年，自转一周是一天，取一天的86400分之一就是一秒。后来发明了机械钟表，普通手表摆轮每秒钟摆动5次，快摆手表每秒摆动6次，最多也不超过8—10次。这对日常工作和生活要求时间精度不高的情况下还能适应。随着科技发展，人们发现晶体振荡每秒钟为250万—500万次，且很稳定，在其基础上发明了晶体钟（石英钟），它的精度可达到300年差一秒。60年代以来，人们又制造出精度更高的原子钟，它的精度可达到3万年仅差一秒。原子钟的产生是计时工作中的又一飞跃。1967年国际度量衡大会采用了时间“秒”的新定义：铯133原子两个超精细能级之间跃迁9192631770次所经历的时间为1原子秒。以原子秒为基准的时间系统即为原子时。1976年国际天文学会联合会决定，从1984年起天文计算和历表上所用的时间单

位，都以原子时秒长为基础。现在应用的有铯、铷、氢等原子钟，它们都是目前世界上最精确的钟。

第二节 历 法

一、概述

日以上的时间系统计量与安排属于历法范畴。通常使用的历书、日历等都是根据历法上的规定而编制的。历法就是以年、月、日等计时单位，依一定的法则组合，供计算较长时间的系统。

历法是在人类生产和生活过程中逐渐形成的。年、月、日都直接与天体运行周期相关。很早以来，人们就把四季更迭的周期定为年（回归年），月亮盈缺的变化周期定为月（朔望月）。一回归年365.2422日，一朔望月为29.5306日，它们都不是日的整数倍，年也不是月的整数倍。如果在实际使用上，采取它们的实际长度，这就很不方便。因此，人为规定历法中的年和月都是整日数，这种整日数的年和月，称为历年和历月。制定历法，还必须考虑以下几点：

第一，年、月、日必须尽可能准确地反映地球公转规律，即符合四季变化规律。这样才能够更好地为工农业生产服务。

第二，历法必须具有通用性，尽可能为广大范围的国家 and 地区的人们所共同使用和遵守。由于历史、民族等社会因素，世界上存在着多种历法。在经济、科技高度发展的当代世界，和“标准时”一样，也必须有一个世界大多数国家通用的历法。

第三，历法使用极为广泛，极为普遍，必须作到简单、明瞭、易记。

我国历史悠久，在历法方面早有特殊的贡献。公元前104年（汉武帝太初元年）落下闳等人创制太初历，是我国历史上第一

部比较完整的历法。公元462年(南北朝时宋大明6年)祖冲之创制大明历,是我国历史上历法史的一次重大的改革。公元1281年(元·至元18年)郭守敬等人创制授时历,已经达到很高的精度,以365.2425日为一年,以29.530593日为一月。我国历史上这些著名的历法以及其他多种历法,都是我们祖先在历法上的巨大成就。

世界各国,特别是文明古国在历法方面都有卓著贡献。各国历代历法注重点不同,概括起来可分为三类:年、日依据天象的称为太阳历;月、日依据天象的称为太阴历;年、月、日都依据天象的称为阴阳历。

二、太阴历

太阴历简称阴历。它是以月亮圆缺变化周期(朔望月)为基础而制定的一种历法。月相的变化是人们最容易看见的天象,因此,各国的历法大都先采用阴历。随农、牧业的发展,这种历法逐渐被淘汰。《希腊历》和《伊斯兰教历》都是阴历,在我国《伊斯兰教历》旧称“回历”。

阴历的特征是:以月相变化周期(朔望月)为依据,历月的平均值大致等于朔望月,大月为30天,小月为29天。阴历的每一天,大体上都与一定的月相相对应。如初一是新月,初七八是上弦月,十五或十六是满月,二十二或二十三是下弦月。阴历历年包括12个历月,它与回归年无关,月份也和四季寒暑无关。

朔望月的长度是29.5306天,若阴历历年包括6个大月6个小月,则历月的平均值为29.5天,比朔望月小0.0306天。经计算得知:在30年的360个历月中,安排191个大月和169个小月,这样,360个历月的平均长度就十分接近朔望月的长度。即:

$$191 \times 30 + 169 \times 29 = 10631 \text{天}$$

$$29.5306 \times 360 = 10631.016 \text{天}$$

阴历历年又分为平年和闰年。平年6个大月6个小月,一年

354天；闰年7个大月5个小月，一年355天。每30年为一个置闰周期，30年中包括11个闰年，规定安排在第2、5、7、10、13、16、18、21、24、26、29各年。

由于阴历历年比回归年约少11天，即每年岁首要比回归年提早约11天，经3年左右就要提早1个月，经16年左右，便提早半年，阴历历月的月份便会寒暑倒置，冬夏易位，这样的历法对安排生产很不适应，这是阴历历法最大的缺点。

三、太阳历

太阳历简称阳历。它是以太阳周年视运动变化周期（回归年）为基础而制定的一种历法。阳历的特征是：以四季变化周期——回归年为依据。历年的平均值大致等于回归年，其月、日都反映一定的季节特征，而与月相无关。

阳历中年、月、日的安排，适用于农业生产活动。经过多次改革，演化成为世界各国普遍采用的公历。

约在公元前3000年，古代埃及在农业生产过程中，便注意到尼罗河泛滥与天象有关，发现太阳运行一年为365.25日，埃及人就把一年定为365日。

公元前46年罗马统帅儒略·恺撒决定采用新的历法，命名为儒略历，它是现行公历的前身。儒略历历年的平均长度为365.25日，历年中的平年365日，每隔3年置1闰年，闰年366日。年分为12个月，单数月31日，双数月30日，只有2月平年为29日，闰年为30日。儒略历已基本上具备了现行公历的很多特点。

公元前9年，儒略·恺撒的继承人奥古斯都把他出生的月份——8月改成他自己的称号Augustus，同时也把8月改为31日，相应地8月以后的双数月改为31日，单数月改为30日，而在2月中又扣除一天，即平年28日，闰年29日，这样就保持了平年365日，闰年366日。1到12月各月的日数安排：31、28（闰年29）、31、30、31、30、31、31、30、31、30、31，一直沿用至今。

回归年的实际长度为365.2422日，而儒略历历年的平均长度为365.25日，两者相差0.0078日。也就是说，儒略历经过128年，与回归年就要相差一天。为了使历年的长度更接近回归年，公元1582年罗马教皇格里高利十三世，改革了儒略历，后来称为格里历。格里历大小月的安排与儒略历相同，置闰方法上规定每4年置1闰年，凡年数能被4除尽的就是闰年，但在400年中要减少3个闰年，为此规定世纪年能被400除尽的才是闰年，如2100年、2200年、2300年都不是闰年，2000、2400年才是闰年。这样，格里历平均年长度为：

$$(365 \times 400 + 97) \div 400 = 365.2425 \text{ (日)}$$

这个数值已非常接近回归年，即只差0.0003日，要经过3300多年才有一日之差。因为格里历达到很高的精度，所以世界各国先后采用，成为现行的公历。我国也于1912年开始采用公历。

概括现行公历的基本点如下：

(1) 年的平均值为365.2425日，平年为365日，闰年为366日。

(2) 1、3、5、7、8、10、12月为31日，4、6、9、11月为30日，2月平年28日，闰年为29日。

(3) 每4年置1闰年，世纪年每400年置1闰年。

这种历法主要的优点是年(平年和闰年)的长度非常接近回归年，年的平均值精确度高，能准确地反映季节变化周期，月、日都比较固定地反映着季节特征。如反映季节特征的21节气，日期都大致固定，立春在2月4(5)日、雨水在2月18(19)日、惊蛰在3月5(6)日、春分在3月20(21)日……这样，对农业生产和日常生活的安排是很有利的。其不足之处是大小月安排混乱，且有的月31天，有的月28天，相差3天，这对生产计划等项活动安排不利。这是历史因素造成的。为此仍需进行历法改革。

在公历中还有一种以7天为一周的纪日方法，就是“星期”。星期的原意是指星的日期。在古代巴比伦，以太阳、月亮、火星、水星、木星、金星、土星分别代表星期日、星期一、星期二、星期三、星期四、星期五、星期六。直到现在，许多民族的语言中还保留着这种星期命名法。如英语中 Sunday(星期日), Monday(星期一), Saturday(星期六)；在日语中使用日曜日、月曜日、火曜日、水曜日、木曜日、金曜日，土曜日，星期命名法全部被保留下来。在法语、德语中也有部分星期命名至今仍在使用。在日常生活中，有人把星期日叫“礼拜天”，星期一叫“礼拜一”等等。“礼拜”原是宗教词汇。基督教认为上帝7天创造世界，耶稣7日复活，因此规定星期天举行宗教仪式而称“礼拜天”。显然，“礼拜天”的说法是荒谬的，应当摒弃这个说法。

四、阴阳历

阴阳历在我国又称夏历或农历。它是把阴历和阳历结合起来而创建的历法。

阴阳历的月以朔望月为依据，年以回归年为依据，所以它兼有阴历和阳历的特点。历月的平均长度大致等于朔望月，大月30日，小月29日。平年12个月，全年354或355日，与回归年平均约差10日21时，所以3年置1闰年，闰年时13个月，即加一个闰月，全年384日或385日，5年再置闰年，19年7闰。19年置7个闰年，使阴阳历历年的平均长度非常接近回归年。

19个回归年的长度： $19 \times 365.2422 = 6939.6018$ 日

阴阳历19年7闰共有朔望月： $12 \times 19 + 7 = 235$ 月

235个朔望月的长度： $235 \times 29.5306 = 6939.6910$ 日

由于阴阳历历年平均值非常接近回归年，这样阴阳历的月、日不但有月相意义，而且大体上与季节相应，不会出现冬夏倒置的现象。这是阴阳历比阴历优越之处。但是阴阳历的平年与闰年的日数相差太大，同时置闰的办法也复杂，这是它的不足之处。

在我国民间，通常把阴阳历和阴历混为一谈，这完全是错误的。

在阴阳历中同时使用二十四节气。二十四节气的创立是我国古代劳动人民智慧的结晶，它与农业生产实践密切相关，根据二十四节气可以断定农时节令，安排农事活动，一直为我国农民广泛应用。因此，阴阳历又称农历。

表4-1 二十四节气表

节气名称	太阳黄经	阳历日期	中气名称	太阳黄经	阳历日期
立春	315°	2月4(5)日	雨水	330°	2月18(19)日
惊蛰	345°	3月5(6)日	春分	0°	3月20(21)日
清明	15°	4月4(5)日	谷雨	30°	4月20(21)日
立夏	45°	5月5(6)日	小满	60°	5月21(22)日
芒种	75°	6月5(6)日	夏至	90°	6月21(22)日
小暑	105°	7月7(8)日	大暑	120°	7月22(23)日
立秋	135°	8月7(8)日	处暑	150°	8月23(24)日
白露	165°	9月7(8)日	秋分	180°	9月23(24)日
寒露	195°	10月8(9)日	霜降	210°	10月23(24)日
立冬	225°	11月7(8)日	小雪	240°	11月22(23)日
大雪	255°	12月7(8)日	冬至	270°	12月21(22)日
小寒	285°	1月7(8)日	大寒	300°	1月20(21)日

二十四节气是根据太阳的周年视运动而决定的。太阳在黄道

上每运行 15° 为一节气，运行一周共为二十四节气。因此二十四节气实际上属于阳历。节气在古代本称为“气”，一个月内包括两个气，一般在前的称“节气”，在后的叫“中气”。按照这个规定，一年中的节气有：立春、惊蛰、清明、立夏、芒种、小暑、立秋、白露、寒露、立冬、大雪、小寒；一年中的中气有：雨水、春分、谷雨、小满、夏至、大暑、处暑、秋分、霜降、小雪、冬至、大寒。

相邻的两个“节气”或两个“中气”在黄道上相距 30° 。相邻的两个节气之间的时间间隔，称为“节月”，节气就是节月的起点和终点，中气是节月的中点。在我国农历中，把回归年分成12个节月，每个节月的平均长度为：

$$365.2422\text{日} \div 12 = 30.4368\text{日}$$

所以节月的长度（30.4368日）大于阴阳历历月的长度（29日或30日）。因此，节气和中气在阴阳历历月内的日期逐年推迟，最后就会出现在一个阴阳历历月中，只有节气没有中气的现象。在我国农历中规定、以中气定月序，因此，凡是无中气的月份，就是农历中的闰月，这一年要增加一个月，即农历的闰年。例如，5月以后的历月没有中气，则在5月之后增加一个月，即闰5月，也就是5月重复一次，前一个5月有中气，后一个5月无中气。

五、其它历法

1. 干支法

我国很早以来用“干支”纪年、纪月、纪日的方法，称为“干支法”。现今农历中的年和日仍使用干支。

干支是“天干”和“地支”的合称。甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸叫做十天干；子、丑、寅、卯、辰、巳、午、未、申、酉、戌、亥叫做十二地支。由天干和地支搭配成六十对干支，叫做“六十干支”或叫“六十花甲子”。

表4-2 六十干支表

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
甲子	乙丑	丙寅	丁卯	戊辰	己巳	庚午	辛未	壬申	癸酉
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
甲戌	乙亥	丙子	丁丑	戊寅	己卯	庚辰	辛巳	壬午	癸未
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
甲申	乙酉	丙戌	丁亥	戊子	己丑	庚寅	辛卯	壬辰	癸巳
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
甲午	乙未	丙申	丁酉	戊戌	己亥	庚子	辛丑	壬寅	癸卯
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
甲辰	乙巳	丙午	丁未	戊申	己酉	庚戌	辛亥	壬子	癸丑
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
甲寅	乙卯	丙辰	丁巳	戊午	己未	庚申	辛酉	壬戌	癸亥

用六十干支周而复始，循环不断地表示年、日。据考证，干支纪年最迟在东汉初期已经普遍使用。干支纪日开始更早，最迟从春秋时鲁隐公3年（公元前722年）已采用，这些资料直到今日从未中断。干支纪年在我国历史学中广泛使用，特别是近代史中很多重大事件的年代常用干支表示，如甲午战争、戊戌变法、辛亥革命等等。

我国还采用十二生肖纪年的方法，把十二地支与十二生肖对应起来，即：子鼠、丑牛、寅虎、卯兔、辰龙、巳蛇、午马、未羊、申猴、酉鸡、戌狗、亥猪。子年为鼠年，丑年为牛年，依此类推，每12为一轮回，循环纪年。实际上它是附属于干支纪年。

例如：1986年干支纪年为丙寅年，也是虎年；1987年干支纪年为丁卯年，也是兔年；1988年干支纪年为戊辰年，也是龙年等等。

干支纪年在日历上可以查到，而干支纪日只有在《万年历》中才能查到。

2. “三伏”

三伏是我国阴阳历中的杂节气，包括初伏、中伏和末伏，合称三伏。三伏的确定与干支纪日有关。在六十干支中，庚午、庚辰、庚寅、庚子、庚戌、庚申这6个带“庚”的日子，叫做庚日。按规定：夏至后的第3个庚日为初伏开始，第4个庚日为中伏开始，立秋后第1个庚日为末伏开始。两个相邻的庚日之间间隔是10天，所以初伏和末伏均为10天，这是固定的。而中伏的长短是不固定的。这是因为庚日在阴阳历中的日期是不固定的。因此，初伏开始的日期有时早，有时晚。若初伏开始早，相继中伏开始也早，那么，到立秋后的第一个庚日，不是10天而是20天，这一年的中伏就是20天。例如：1986年夏至后的第3个庚日在阳历7月15日，即初伏开始。第4个庚日是7月25日，即中伏开始，而立秋在8月8日，立秋后的第1个庚日是8月14日，即末伏开始。所以这一年的中伏由7月25日到8月13日，共计20天。如果初伏开始晚，相继中伏开始也晚，那么，到立秋后的第1个庚日仅为10天，这一年的中伏就是10天，例如：1987年夏至后第3个庚日是阳历7月20日，即初伏开始，7月30日中伏开始，立秋后第1个庚日8月9日末伏开始。所以这一年的中伏是10天。在一般情况下，凡初伏开始在7月11日到17日之间的年份，中伏是20天；初伏开始在7月19日到21日之间的年份，中伏是10天；初伏开始在7月18日，中伏可能是10天，也可能是20天。

三伏之时正与二十四节气的小暑大暑相对应，大暑在阳历7月22（23）日，此时正值中伏，是一年中最热的时期，所以有“热在中伏”的说法。

表4-3 12月世界历

一季度	1 月	2 月	3 月	
星期	日	1 8 15 22 29	5 12 19 26	3 10 17 24
	一	2 9 16 23 30	6 13 20 27	4 11 18 25
	二	3 10 17 24 31	7 14 21 28	5 12 19 26
	三	4 11 18 25	1 8 15 22 29	6 13 20 27
	四	5 12 19 26	2 9 16 23 30	7 14 21 28
	五	6 13 20 27	3 10 17 24	1 8 15 22 29
六	7 14 21 28	4 11 18 25	2 9 16 23 30	
二季度	4 月	5 月	6 月	
星期	日	1 8 15 22 29	5 12 19 26	3 10 17 24
	一	2 9 16 23 30	6 13 20 27	4 11 18 25
	二	3 10 17 24 31	7 14 21 28	5 12 19 26
	三	4 11 18 25	1 8 15 22 29	6 13 20 27
	四	5 12 19 26	2 9 16 23 30	7 14 21 28
	五	6 13 20 27	3 10 17 24	1 8 15 22 29
六	7 14 21 28	4 11 18 25	2 9 16 23 30*	
三季度	7 月	8 月	9 月	
星期	日	1 8 15 22 29	5 12 19 26	3 10 17 24
	一	2 9 16 23 30	6 13 20 27	4 11 18 25
	二	3 10 17 24	7 14 21 28	5 12 19 26
	三	4 11 18 25	1 8 15 22 29	6 13 20 27
	四	5 12 19 26	2 9 16 23 30	7 14 21 28
	五	6 13 20 27	3 10 17 24	1 8 15 22 29
六	7 14 21 28	4 11 18 25	2 9 16 23 30	

(续表)

四季度	10 月					11 月					12 月				
日	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24		
一	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25		
二	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26		
三	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6	13	20	27		
四	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28		
五	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29		
六	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30*		

* 闰年时加一天假日

* 年终国际节日

六、历法改革

各种历法各有其优缺点，现行公历虽然普遍为各国广泛采用，但也有不足之处。目前历法改革主要是在公历的基础上进行的。

表4-4 13月世界历

星期	月份												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
日	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
一	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
二	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
三	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
四	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
五	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
六	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

续表

星期	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
日		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
一		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
二		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
三		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
四		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
五		13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
六		14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
日		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
一		16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
二		17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
三		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
四		19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
五		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
六		21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
日		22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
一		23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
二		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
三		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
四		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
五		27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
六		28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28*

*闰年时加一天假日

*年终国际节日

公历改革主要集中在两方面：第一，大月小月安排有序，且天数相差不大；第二，同时考虑到“季”和“星期”，尽可能使它们与月、年协调。目前，比较引起人们关注的有代表性的改革方案是12月世界历和13月世界历。

12月世界历的特点是：每年等分为4个季，每季3个月，第一个月31天，第二、三个月各30天，每季91天，包括13个星期。每季都以星期日开始，星期六告终。四季共364天。平年在12月末加一天，做为“国际新年假日”，不计入月份内，全年共365天。闰年在6月末也加一个假日，也不计入月内，全年共366天。

13月世界历的特点是：每年13个月，每月都是4个星期，为28天，全年52个星期，共364天。平年加一个假日，闰年加两个假日，分别置于年末和年中，不计入月份内。

这两种方案的主要优点是：月、星期、日相互配合，都是固定的，年年相同，永久可用。这对各项工作和生活使用非常方便。不足之处是存在着不计入日序的假日，这对记载社会活动和历史事件是很难处理的。

本章总结

一、本章内容与前三章既有联系又有区别。前三章主要介绍天体存在的形式和运动状况，其中特别是地球和月球的运动规律，它是本章的基础。本章是从人类的实践需要出发，依照客观天体运动规律，而人为地规定出时间和历法。也就是说，前三章内容重于基本原理和基本规律，本章内容重于实践应用，说明时间和历法是如何确定的。

二、时间和历法是为人为规定的，它一方面以地球的公转和自转为依据，另一方面又要根据人类的需要和使用的要求而确定具体的时间和历法。依不同的参考系有着不同的时间和历法系统。同时，随着人类社会的不断发展而进行着不断的改革，有着不同

的时间和历法。

三、地球的公转和自转运动的周期是地球表面四季变化和昼夜交替的周期。所以，自古以来它就成为人们确定年和日的依据。从地质时期来看，地球自转速度是在逐渐变慢。据考证，数亿年前一年为400多天，一朔望月为30多天，而如今分别为365天多和29天多，依此推算，10亿年后，一年可能为300天左右，一朔望月可能为24天左右。

复 习 题

1. 真太阳时是如何确定的？它有何特点？
2. 平太阳时是如何确定的？它有何优点？
3. 何谓时差？何谓地方时？
4. 全球时区是如何划分的？区时如何确定？
5. 什么是世界时？北京时间？
6. 为什么要确定日界线？它是如何确定的？
7. 当墨西哥城(西经 99°)是5月31日20时(标准时)时，北京应为何日何时？
8. 太阴历基本特点是什么？有何缺点？
9. 太阳历基本特点是什么？有何缺点？
10. 阴阳历(农历)的基本特点是什么？有何缺点？
11. 二十四节气是如何确定的？它有哪些优点？

第五章 地 球

地球是太阳系中九大行星中的一颗普通行星，九大行星在太阳引力作用下都围绕着太阳进行着公转，同时它们自己也都自转着。太阳的光和热，是九大行星重要的能量源泉。地球又以月球为伴，构成地一月系，它们之间也在相互影响着。由于地球在太阳系中所处的特定位置，以及它自身形成演化的过程，这就决定了地球自身独特的性质。由于地球表面与其他行星表面在物质和能量等方面条件不同，所以形成了包括生物圈和人类在内的地理环境。迄今为止，在其他天体上尚没发现生物和人类的存在。在这个意义上讲，地球又是一个特殊的天体。

地理环境哺育了人类并促进其发展，人类活动对地理环境又进行着越来越显著的改造。发展到当今时代，甚至出现了人类与地理环境之间的不协调状况。因此，深入地研究和了解地球，特别是地理环境的性质及其变化规律，从理论上和实践上以协调人一地之间的关系，成为现代地理学亟待解决的问题。

本章仅就地球的总体特征做概括的介绍，以作为步入地理学的垫脚石。

第一节 地球的形状和大小

人类对地球形状和大小的认识，经历了漫长的岁月。在很长的时期里，人们都是在地球上研究地球的形状和它的大小，总是得不到确切的满意答案。自本世纪50年代以来，随着宇航事业的

发展，人类飞出了地球，到“天上”观察地球的形状并计算它的大小，才得到令人满意的结论。

一、地球的形状

我国古代关于“天”和“地”的形状主要有两种观点：盖天说和浑天说。盖天说主张天圆象张开的伞，地方象棋盘，即天圆地方。浑天说认为，天地形状象鸟卵，天包着地象卵包着黄。在其他一些古老的国度，关于地球的形状也有许多形形色色的传说。

最早用科学的观察方法证实地球是圆的学者是古希腊人亚里士多德。亚里士多德在公元前350年提出地球是圆的论据是：当一个人从北向南或从南向北旅行时，在他前方的地平线上会不断地出现一些新的星星，原先看到的一些星星则会消失在后方的地平线以下。这说明地球表面是个曲面，而不是平面。他还指出，月食时，不论月亮处在什么位置，在月亮上呈现的地影总是圆形的。如果大地不是一个球的话，这些现象是无法解释的。直到公元1522年，麦哲伦等人完成了绕地球一周的航行之后，地球是个球体才被人们所公认。在17世纪中叶以前，人们一直把地球看作是正球体。

17世纪末，牛顿从理论上论证了地球不是一个正球体，而是一个椭球体。他认为由于地球绕轴自转，地面的运动速度在不同纬度是不相同的，两极为零，赤道最大。旋转速度越快，离心力就越大。因此，离心力在静止不动的两极应该为零，并逐渐向低纬度增大，在赤道离心力达到最大值。这就意味着，地球赤道带向外鼓得最厉害，地球应该是个两极扁平，赤道向外凸出的扁椭球体，称为旋转椭球体。

经过多次大规模的测量发现，在同一条经线上纬度一度的弧长是不等长的，低纬度地区纬度一度的弧长要比高纬一度弧长要短（表5-1）。

表5-1 同一经线上纬度一度的弧长

纬 度	0°	20°	40°	60°	80°
弧 长 (公里)	110.6	110.7	111.0	111.4	111.6

这是因为地球表面高低纬之间曲率不同所造成的。曲率半径愈短，地表曲率愈大，一度的弧长就愈短；反之曲率半径愈长，地表曲率愈小，一度的弧长就愈长。这充分证明了地球是一个旋转椭球体。到1979年测量出精确的数值为：地球的赤道半径 a 为6378.137公里，极半径 b 为6356.752公里，地球的扁率 $(a - b)/a$ 为1 : 298.257。

地球表面的真实情况是起伏不平的，最高峰高出海平面8848米；最深的马利亚纳海沟又低于海平面11034米。高低差约20公里，与地球的直径比，这个高差又是微不足道的。为了突出地球形状的总体特征，而把地表起伏忽略不计，并且用大地水准面来表示地球的形状。大地水准面就是假设海洋表面完全处于静力平衡状态，并把它延伸到大陆内部的水准面。

经过精确测量，用大地水准面表示的地球形状并不是一个规则的椭球体，不同地点与规则椭球体是有出入的。为此，通常把规则的椭球体作为参考椭球体，用各地的大地水准面对照参考椭球体的偏离来反映地球的真实形状。其结果是：地球赤道不是正圆，而是个椭圆，长轴与短轴最大相差430米；地球的南北半球是不对称的，南极较参考椭球凹进25.8米，北极凸出18.5米；而南纬45°又有隆起，北纬45°又有凹陷。

因此，很难用简单的几何形状来表示地球的形状，地球的形状很不规则，只能说它是个“不规则的球体”。

在实际应用上，针对不同情况和要求，把地球形状可作不同处理。制做地球仪、绘制小比例尺全球性地图时，可把地球当作

正球体看待；测绘大比例尺地图时，可把地球作为参考椭球体看待；在发射人造卫星和轨道计算时，则需考虑各地对参考椭球体的偏差。

二、地球的大小

早在公元前200多年，古希腊地理学家、天文学家埃拉托色尼首先根据几何学原理，对地球圆周进行了直接的测算。埃拉托色尼认为地球是个正球体，他在埃及选择了大致在同一条经线上的两个城市：赛恩

和亚历山大城。在赛恩夏至那天正午，太阳光线垂直地射入到深井底部，也就是说，太阳位于天顶，太阳光线垂直于地面（图5-1中B点）。

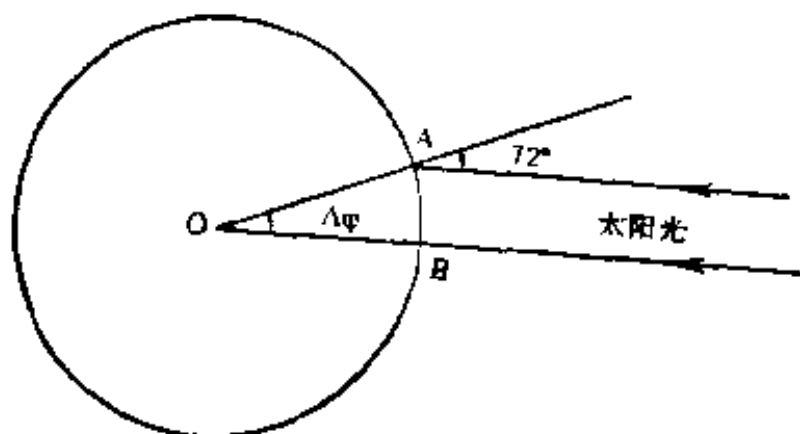


图5-1 埃拉托色尼测量地球大小示意图

在亚历山大城也是同一天的正午，太阳光线却与垂直线成 $7^{\circ}.2$ 的夹角（图5-1中A点），这个角度为一整圆周的 $1/50$ 。埃拉托色尼又估算了赛恩和亚历山大城之间的距离，然后再乘以50，即得出整个经圈的周长。依地球经圈的周长就可求出地球半径及其表面积。

埃拉托色尼测算地球大小的原理是完全正确的，所以直到近代的大地测量中，仍然采用同样的方法，只是用测恒星代替了测太阳，这样可以提高精确度。

近年来，从人造地球卫星获得的有关地球数据更加精确了。1979年，根据大地测量和地球物理协会决定，采用有关地球大小的数据为：

地球赤道半径a 6378.137公里

地球极半径b 6356.752公里

地球的平均半径 $\frac{2a+b}{3}$

6371.008公里

地球的扁率 $\frac{a-b}{a}$ $\frac{1}{298.257}$

地球的赤道周长 $2\pi R$

40075.7公里

地球的表面积 $4\pi R^2$

510100934平方公里

第二节 地球的主要物理性质

一、质量和密度

我们无法直接测量出地球质量的大小，只能用间接方法求出。英国物理学家卡文迪什以牛顿万有引力定律为依据，首先求出地球的质量。这种方法一直沿用至今。

依据万有引力公式：

$$F = G \frac{Mm}{R^2} \quad \text{改写成：} \quad M = \frac{R^2 F}{Gm}$$

式中M为地球的质量；R为地球的半径值（6371公里）；F为地心对地面上1克物质的引力即重力，其平均值为980厘米/秒²；G为万有引力常数，通过实验求得 其值为 6.67×10^{-8} 达因·厘米²/克²；m为地表面质量为1克的物质。代入上式后可得：

$$M = \frac{(6371 \times 10^5)^2 \times 980}{6.67 \times 10^{-8} \times 1} = 5.98 \times 10^{27} \text{克}$$

由此可知地球的质量约为60万亿亿吨。

地球的总质量被其总体积除，即可得出地球的平均密度：

$$\rho = \frac{5.98 \times 10^{27} \text{克}}{1.08 \times 10^{27} \text{厘米}^3} = 5.52 \text{克/厘米}^3$$

地球的平均密度为5.52克/厘米，组成地球表面的主要岩石花岗岩的密度为2.7克/厘米，玄武岩的密度为2.8克/厘米³，由此可推知地球内部物质的密度一定大于平均值5.52克/厘米³。

地震学家布伦1970年提出地球结构模式，并推算出地球内部密度，如表5-2。

表5-2 地球不同深度的密度分布

	上限—下限深度(公里)	上限—下限密度(克/厘米 ³)
地壳	0—15	2.83
地幔	15—2878	3.31—5.62
外核	2878—5161	9.89—12.70
内核	5161—6371	12.70—13.00

地球密度随深度的增加而递增的现象，主要是组成地球的物质发生重力分异所致，即在重力的作用下，轻物质上升，重物质下沉的结果。同时，随着深度的增加压力加大，物质的密度也会加大。

二、地球的重力

地球的质量直接决定着地球的引力，而引力又是决定地球重力最主要的因素。凡是地球上的一切物质都具有一定的重力。重力总是力图使地球上的物质处于相对稳定的平衡状态，在地球内部它使得物质按照密度的大小从地心向外呈有规律的同心圆状排列。因此，研究地球重力的影响因素及其分布具有重要意义。

地球上任何物体都同时受两种力的作用：一是地球的引力；

二是地球自转所产生的惯性离心力。这两种力的合力，就是物体的重力（图5-2）。

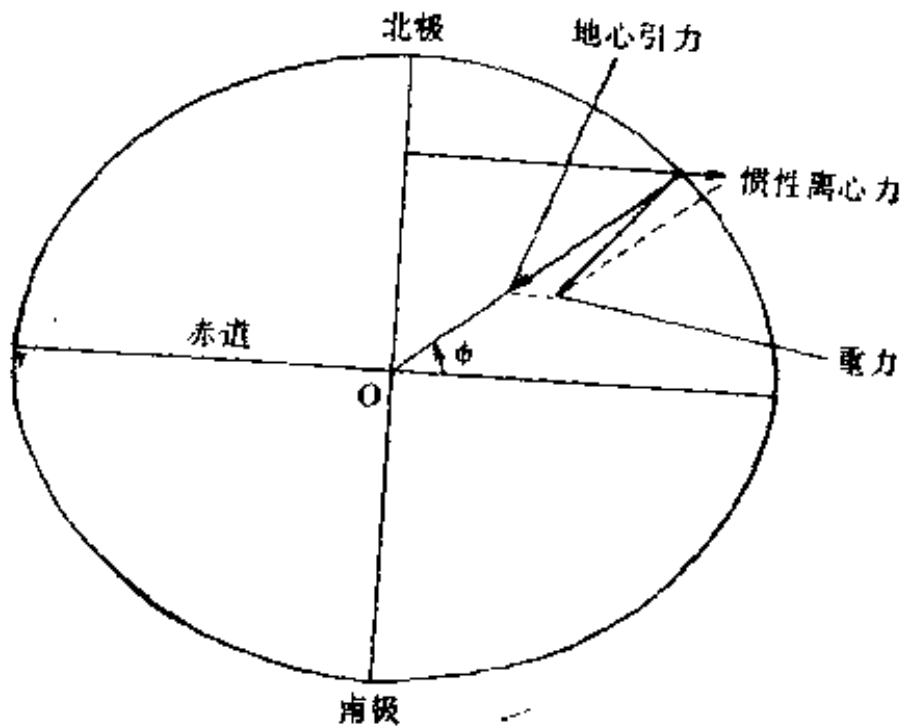


图5-2 地球的重力

地球的引力方向是指向地心（地球质量中心）的；其大小取决于地球的质量及物体与地心的距离。因此，两极引力最大，随纬度减小引力减小，在赤道上最小。据计算，对地球表面1克物质而言，两极的引力为983.2达因，赤道上的引力为981.4达因，两者相差1.8达因。惯性离心力的方向是与地球自转旋转半径反向的，即与地轴垂直指向外的；其大小与旋转速度的平方成正比。因此，惯性离心力在极地为零，随纬度降低惯性离心力加大，在赤道上最大。据计算，对地球表面1克物质而言，两极处的惯性离心力为零，赤道处为3.4达因。在赤道上惯性离心力垂直于地平面，与引力反向。除赤道和两极外，惯性离心力的方向与地平面既不垂直也不水平。因此，相对于地平面可以把它分解为垂直分力和水平分力。垂直分力与引力反向，影响着重力大小，水平分力与引力垂直，使得重力方向不是指向地心，而是稍

向赤道偏离。

由此可见，地球表面重力分布的情况是：两将重力最大，随纬度降低重力减小，赤道上最小，如某一物体在赤道上的重量是188公斤，到两极将是189公斤。

④ 地球表面起伏不平，随高度的增加，重力也逐渐减小。

惯性离心力对重力的影响是很微小的，以赤道而论，虽然其惯性离心力最大，也仅占地平面平均引力的0.3%左右，其他地区的惯性离心力值则更小。因此，在精度要求不高的情况下，惯性离心力对重力的影响可以忽略不计。

如果把地球作为参考椭球体，可以计算出重力的纬度分布状况，这是理论值。在实际上地球表面重力分布是很复杂的。首先，地球本身是个不规则的椭球体，大地水准面与参考椭球体并不完全吻合；第二，地球表面起伏不平；第三，地球不是均质球体，各处物质分布很不均匀。通常我们把某地实测的重力值归算到大地水准面上与该地的理论重力值之差，称为重力异常。小面积的重力异常在实际应用上可做为找矿找水的参考，大面积的重力异常可作为研究地壳构造的依据。

三、地球的磁性

在宇宙中的天体普遍都具有磁场，恒星的磁场强度都比较强，行星的磁场强度都比较弱。地球的磁场具有正极（磁北极）和负极（磁南极），是一个偶极磁场。1975年测得的地磁南极位于北半球 $76^{\circ}.2N$ ， $100^{\circ}.6W$ ，离地理北极约1600公里，在加拿大北部巴瑟斯特岛的西北；地磁北极位于南半球 $65^{\circ}.8S$ ， $139^{\circ}.4E$ ，离地理南极约1600公里，在南极洲威尔克斯地东北。习惯上人们把位于北半球的地磁南极叫北磁极；位于南半球的地磁北极叫南磁极。北磁极和南磁极仅反映地理位置与磁性的南北极相反。

在磁场范围内，磁针指示的方向即磁力线方向。地磁两极的连线叫磁轴。地球磁场的磁力线成轴对称地分布在地球周围。

为了表示地球表面某一地点的地磁状况，常用地磁场强度、

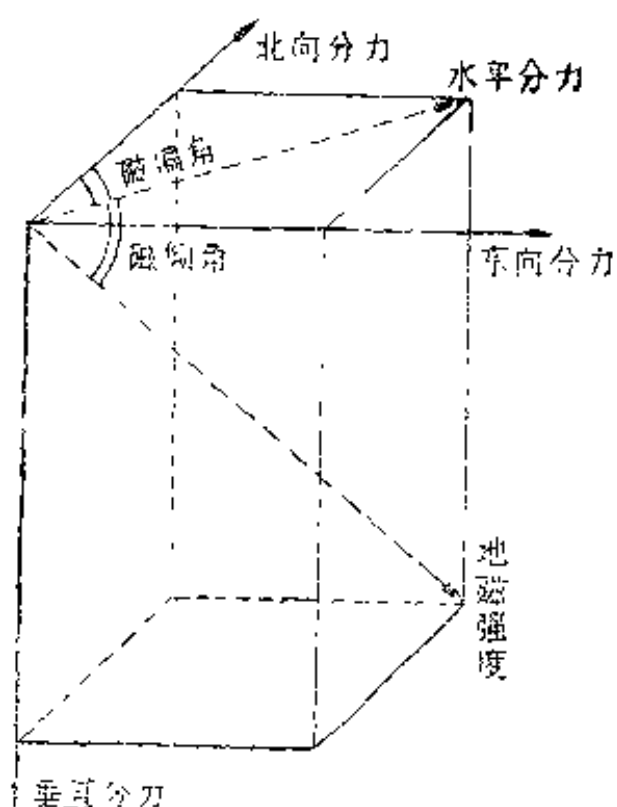


图5-3 地磁要素图解

地磁倾角和地磁偏角，合称地磁三要素来反映（图5-3）。

磁场强度是指磁场的各点所受磁极的作用力的强度。把具有一个单位磁极强度的磁极放在磁场某一点，若作用在这个磁极上的磁场力是1达因，该点的磁场强度规定为1奥斯特。对地磁强度来说，这个单位太大，因此，地磁强度常用伽玛来表示（1奥斯特=10⁵伽玛），地球的平均磁场强度约为50000伽玛，两磁极的磁场强度约为60000—70000伽

玛，地磁赤道约为30000—40000伽玛。

磁倾角就是指南针相对于当地水平面倾斜所构成的俯角。在一般情况下磁力线的方向（即指南针方向）与当地地平面是不平行的，而呈倾斜相交，构成一个俯角和一个仰角，习惯上以俯角作为地磁倾角。就全球而论，两磁极磁倾角最大，为90°，向低纬逐渐减小，地磁赤道为0°。

磁偏角就是指南针与当地经线之间的夹角。因为地理两极和地磁两极不相重合，所以磁力线方向（指南针方向）与地理经线之间呈斜交状态。习惯上把磁针北端与地理经线之间的夹角，作为地磁偏角。如图5-4所示，若磁针北端位于经线以东，称为东偏，以西称为西偏，东偏为正，西偏为负。如果地球是个均匀磁球体，在地磁两极所在的地理经线上，地磁偏角应为0°或180°，这条经线叫无偏线。无偏线把全球分为东偏半球和西偏半球两大

部分。实际上，地球不是个均匀磁球体，磁偏角分布要复杂得多。

磁偏角与我们日常生活关系最为密切，用指南针定方向时，首先必须知道当地的磁偏角，进行校正后，才能确定该地的真正南北方向。

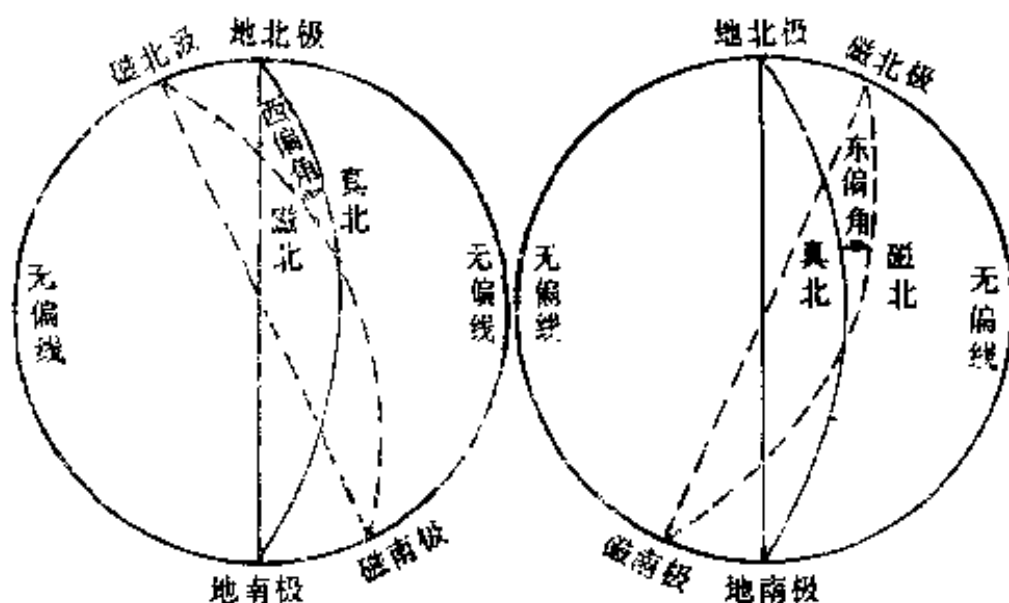


图5-4 磁偏角

地球磁场与地球的组成物质及其运动有关，通过实地的地磁测量可以发现地磁异常区域。对地磁异常的分析，可以作为发现矿藏，研究地壳的构造和运动等方面的依据。本世纪60年代以来，获得了大量的海底磁场资料，发现海底磁异常在海岭两侧作对称排列分布，这为著名的海底扩张学说和板块构造学说提供了重要的证据。（有关这方面的详细内容将在地质学中介绍）。

四、地球内部温度及其热源

地球的能量来源主要从两大方面：一是以太阳辐射能为主的“外来能”；一是地球内部所产生的“内生能”。外来能主要决定了地球表面的热状况，内生能主要决定了地球内部的热状况。

太阳辐射能是地球表面自然地理环境中最主要的能源，它的空间分布和时间变化对自然地理环境的形成和时空变化具有决定

性的作用。由于岩石既不透明又是热的不良导体,所以,太阳辐射能影响的范围不超过地表以下20—25米的深度。在这个范围内,温度具有明显的日变化和年变化。再往深处,是温度稳定不变的层次,叫常温层。常温层以下受内生能的影响,温度随深度增加逐渐升高。

内生能通过热传导也有一小部分热量到达地球表面,大约每年每平方厘米的地表面积上获得40—50卡的热量。它相当于地表相同的面积上所接受太阳辐射能的1/4000到1/5000。这个微小的量对地球表面的作用在短时间内是不易察觉的。但是,在地质时期里,内生能却是引起地球内部物质运动和演化的动力,通过地球内部的构造运动,显著地改变着地表形态和海陆分布,造成地球表面沧海桑田的巨变。内生能的作用是缓慢的,但有时也以火山爆发、地震活动突然爆发的形式显露于地表。同时,内生能所产生的地热流,也是我们人类巨大的宝贵的能量资源。

由于地内热源的影响,在常温层以下温度随深度增加而升高。通常采用两种方法来表示温度随深度变化的情况。一种是用温度每升高 1°C 时需要深入多少米来表示,称为地热增温级。地内地热增温级的平均值为33米,即温度升高 1°C ,向下深入33米;另一种表示方法是温度梯度,即每深入单位距离,温度增加多少度。地内地热温度梯度平均值约为每深入100米,增温 3°C 。由此可见,地热增温级和地热温度梯度互为倒数的关系。在不同地区,因组成物质不同,地质构造不同,地热增温级或地热温度梯度也各不相同。

若按它们的平均值和地球半径计算,地心温度将高达20万度,这样的高温将使地球全部熔化。实际情况是它们的平均值只适用于大约深入地表8公里之内的范围,再往深处就不适用了。根据地震波和物质状态,可以估计地内深处的温度状况。目前估计各深度的温度值如表5-3。

表5-3 地球不同深度的温度分布

深度(公里)	100	400	700	2900	地 心
温度(°C)	1100—1200	1500	1900	3700	4500—5000

地球内部的热能,主要来源于放射性元素蜕变释放出的热能。组成地球的某些元素的原子核很不稳定,它能自发分解,放射出氦原子核流(称 α 射线)和高速电子流(称 β 射线),而它本身变成另一种新元素。这一过程叫蜕变。能发生蜕变的元素,称为放射性元素。例如,一个 U^{238} (铀)放射一个氦原子核可变成 T_h^{234} (钍)。 T_h^{234} 也不稳定,继续放射氦原子核,直到变成 P_b^{206} (铅)才稳定。据计算,1克 U^{238} 变成稳定的 P_b^{206} 释放的总能量为 2.2×10^7 卡,相当于燃烧800公斤煤所产生的热量。产生地内热能的主要放射性元素是 U^{238} 、 U^{235} 、 T_h^{232} 和 K^{40} (钾)。

从对各类岩石化学成分分析中得知,花岗岩中放射性元素含量最高,玄武岩次之,橄榄岩最低。而花岗岩和玄武岩是组成地壳的主要岩石,橄榄岩则是地幔的主要成分。地核中放射性元素含量和铁陨石中的含量相近,其数量极少。由此可知,放射性元素蜕变所产生的地内热能主要聚集在地球表层附近。

表5-4 各类岩石中放射性元素含量及其放射的热量

岩石种类	放射性元素的含量(克/吨)			放射热量 ($\times 10^{-5}$ 卡/厘米 ³ ·年)
	铀	钍	钾	
花岗岩	4	13	4.1	1.74
玄武岩	0.6	2	1.5	0.35
橄榄岩	0.02	0.06	0.02	0.01
铁陨石	0.0001—0.000001			0.00006—0.000006

第三节 地球的结构

一、地球的圈层结构

地球的组成物质是多种多样的，既有无机物又有有机物；既有固态的，也有液态的、气态的。在地球的形成、演化过程中，这些物质在重力作用下按其密度大小，从地心向外，大致呈现同心圆的圈层结构，这是地球结构的最大特征。

在地球表面包围着一层大气，构成地球的最外层，称为大气圈。地球大气与星际空间很难划分出明确的界限。根据人造地球卫星探测资料推算，大致在距地表2000—3000公里的高度，地球大气密度已十分接近星际气体密度，所以，通常把这个高度作为地球大气的上界。地球大气的主要成分和质量还是集中在10余公里以下的层次，它对太阳辐射能的输入和输出有着显著的影响。

在大气圈的保护下，地球固体岩石的表面包围着一层以海洋为主体的水圈。它的平均厚度约3.8公里。地球上的水以固态、液态和气态三种形式同时存在，并且进行着不间断地互相转化，维持着全球性的水分循环和水量平衡。在水的运动过程中，对地球表面物质进行着物理的、化学的作用，改变着地表物质状态。

在地球表面，大气圈表现最显著的特征是冷热不均，主要是高低纬地区之间的差异；水圈表现最显著的特征是水量分配不均，主要是海陆之间的差异。这种能量和水量分配不均的状况，是促成大气运动和水分循环的先决条件，是形成地球表面各地带自然地理环境特征的主导因素。

在地球表面具备大气、水和营养物质的条件下，这就给有机物的出现奠定了基础，而有机物的产生又是生命体形成的前提。发展到今日世界，已有100多万种动物、30多万种植物和十几万种微生物。这个生命世界，构成了生物圈。生物圈在地球表面并不

孤立成圈。而是寄居在大气圈、水圈和地壳表面接触的地带。从其所占空间范围来看，厚度仅2—3公里；从其所占地球总质量的比重来看，仅占3/亿，与整个地球相比，可以说是微不足道的。但是生物圈却是构成地球表面自然地理环境中的最活跃、最复杂的成员，是使地球表面生机盎然，区别于其他天体的决定性因素。

通常把大气圈、水圈和生物圈合称为地球的外部圈层。自地表以下直到地心，又可分为地壳、地幔、地核等层次，它们构成了地球的内部圈层，它们是地球的主体部分。而与人类活动关系最为密切的还是外部圈层，其中尤以生物圈最为重要。

二、地球的内部结构

人类对地球的外部圈层可以直接观测获得资料，特别是人造卫星和遥感技术的发展与应用，使得人类对外部圈层的认识更加深入全面了。可是，“入地比上天困难得多”。目前世界上最深的钻井也只有11公里深。因此，对于地球内部结构的认识只能靠间接的方法来推测。目前最主要的方法是地震波分析法。

当地震或地下人工爆炸时，产生的波动有的沿地表面传播，叫面波；有的通过地球内部传播，叫体波。地球内部结构主要是通过体波分析得到的。体波分为两种：纵波（以P表示）和横波（以S表示）。纵波在介质中传播时，质点与质点间交替地发生靠拢和舒张，使质点振动的方向和波传播的方向一致。纵波能够穿过固体、液体和气体。横波通过介质时，质点振动的方向与波传播的方向互相垂直，就好象蛇行那样，它的身体蜿蜒方向和前进方向成直角。横波只能穿过固体，而不能通过液体和气体。纵波的波速为横波的1倍，所以纵波总是先到达地震站，而横波总是迟到。

一方面，体波的通过与否和介质状态有关；另一方面，体波的传播速度又与介质密度、介质的弹性特征有关。因此，通过对

体波的分析，可以得到对地球内部物质状态，密度的大小等性质的概括判断，由此推知地球内部的结构。

在地震学里把地球深处地震波传播速度发生急剧变化的地方，称为不连续面。根据地内不连续面，可把地球内部分为三个圈层（图5-5）。

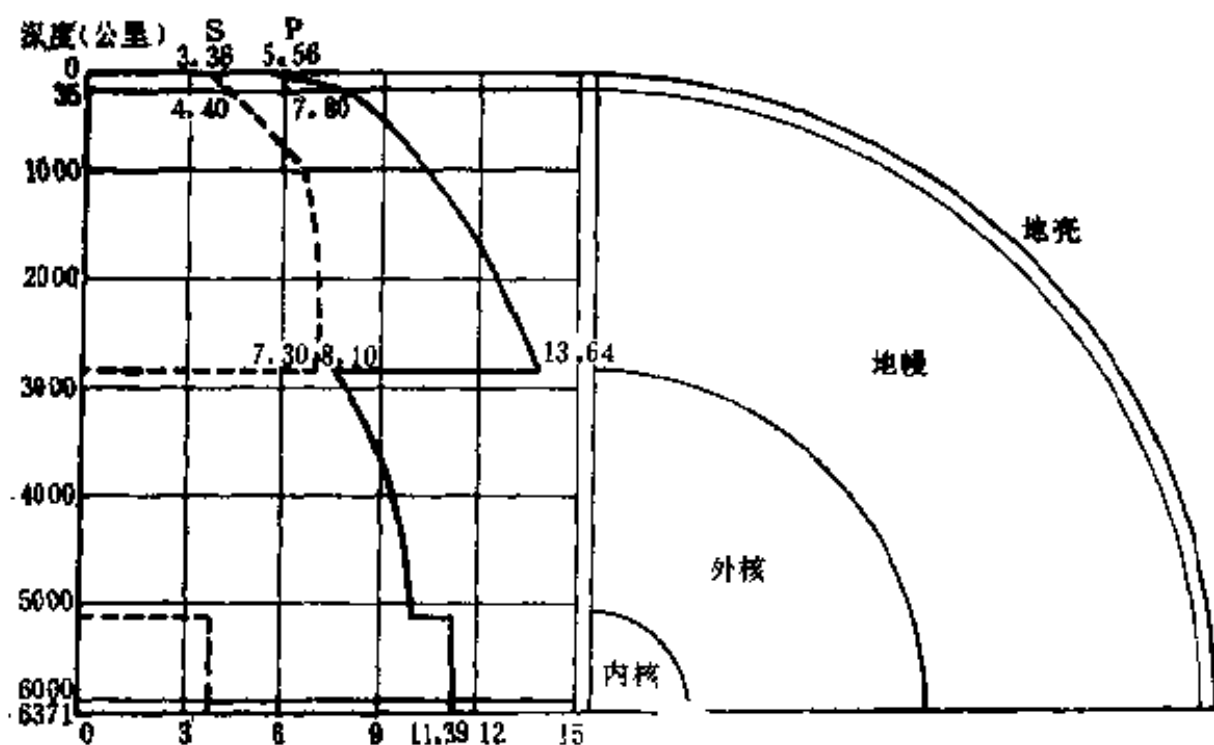


图5-5 地下各深度地震波速的分布与地球内部圈层结构

1. 地壳 从地表以下到第一个不连续面之间的层次，即为地壳。这个不连续面称莫霍洛维奇界面，简称莫霍面。它是奥地利地震学家莫霍洛维奇于1909年发现的，故名莫霍洛维奇界面。莫霍面的深度各地不同。在大陆上的平均深度为30—40公里，其中在褶皱山系地区可深到50—75公里，在岛弧地区约深20—30公里。而在大洋地区只有5—10公里深。由此可知，大陆地壳远比海洋地壳厚。

大陆地壳又可分为上下两层：上层主要由花岗岩组成，密度为2.7克/厘米³，称为花岗岩层；下层主要由玄武岩组成，密度为2.9克/厘米³，称为玄武岩层。海洋地壳比大陆地壳简单，主

要由玄武岩层组成，花岗岩层完全缺失（如太平洋）或很薄（如大西洋和印度洋）。

地壳中的花岗岩和玄武岩的化学成分以硅和铝为主，所以地壳又称硅铝层。

2. 地幔 也叫中间层。自莫霍面以下到2900公里深处的第二个不连续面之间的范围，即为地幔。这个第二个不连续面，是美籍德人地震学家古登堡于1914年发现的，故取名古登堡面。

由于地震波的纵波和横波都能通过地幔，推断地幔物质呈固态。因地幔物质组成的差异又可分为上地幔和下地幔。莫霍面到1000公里深处的范围为上地幔，主要组成岩石是橄榄岩，所以上地幔又叫橄榄岩带；由1000公里到2900公里深处的范围，为下地幔，组成物质中镁、铁以及金属氧化物、硫化物增多，所以下地幔又称金属矿带。

根据普雷斯的意见：地壳及地幔顶部坚硬的岩石部分，即由地表到70公里深的范围，称为岩石圈。70到350公里，地震波波速相对减弱，这里的岩石温度可能接近熔点，或者有局部物质呈熔融态，这一层次称为软流圈。软流圈内的物质进行着缓慢的对流运动，它是驱动其上部的岩石圈板块漂移的动力。软流圈以下，即350到700公里深处，是中间过渡圈。700到2900公里深处，为下地幔。

3. 地核 从古登堡面以下直到地球中心的部分，称为地核。根据地震波传播情况，又可分为外核与内核。从2900到5100公里的范围称外核。在外核内地震波的横波完全消失，只有纵波通过，但波速减弱，所以外核的物质是液态的。5100公里以下到地心，为内核。在这里地震波的横波重新出现，纵波波速也有突然增大的现象。由此可知，内核物质是固态的。组成地核的主要成分是以铁、镍为主的重金属。

地球内部的分层及其物理状况列于表5-5。

表5-5 地球内部分层及其物理状况

深度 (公里)	层次	温度 (K)	密度 (克/厘米 ³)	压力 (10 ¹² 达因/厘米 ²)	地震波波速(公里/秒)	
					纵波	横波
0	地壳	287	2.6	0.000	5.6	3.4
10		460	2.7	0.003	6.0	3.6
33		700	3.3	0.009	7.9	4.4
200	上地幔	1700	3.6	0.068	8.2	4.5
600		2300	4.1	0.218	10.2	5.65
1000		3000	4.6	0.40	11.43	6.35
2000	下地幔	3800	5.1	0.87	12.80	6.92
2700		4300	5.6		13.62	
2900			9.7	1.36	8.1	7.30
3000	外核	4500	9.8	1.45	8.2	
4000			11.1	2.38	9.5	
5100			12.7		9.7	4.05
5500	内核	5500—6000	12.9	3.5	11.2	
6371			13.0	3.7	11.3	3.16

三、地表结构的特征

在人造卫星上观察地球表面，它的最大特点是广大的蓝色海洋上分布着几块陆地，陆地上起伏不平。

1. 海陆分布及其地理意义

地球表面总面积为5.1亿平方公里，其中海洋面积为3.61亿平方公里，占地表总面积的70.8%；陆地面积为1.49亿平方公里，占地表总面积的29.2%。海洋与陆地面积之比约为2.4 : 1。海陆

之别，且以海为主，这是地球表面结构的最大特点。

海陆分布是极不均匀的。北半球海洋面积占北半球总面积的61%，陆地占39%；南半球海洋面积占南半球总面积的81%，陆地仅占19%。所以，陆地大部分集中于北半球，而南半球海洋占绝对优势。

海陆按纬度的分配也是极不均匀的（图5-6）。北半球中高

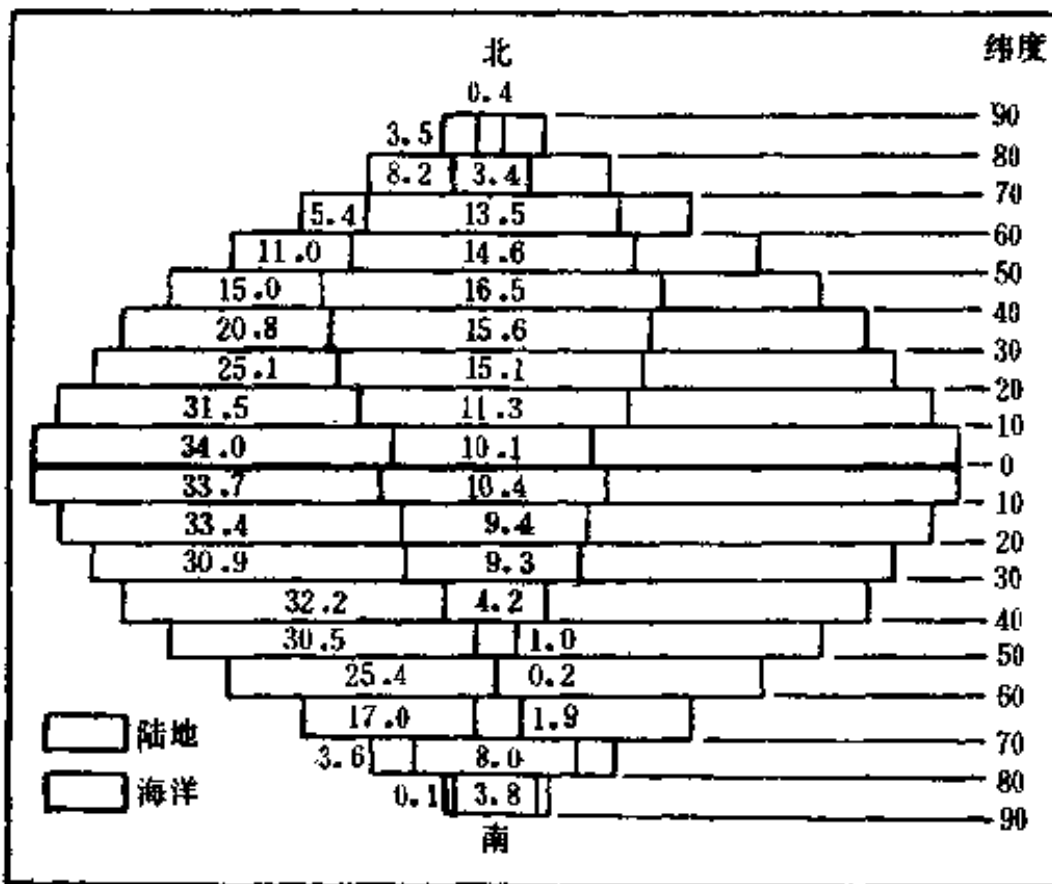


图5-6 地球表面海陆按纬度分布(图中数字为面积,单位百万平方公里)

纬地区（北纬40°—70°）陆地面积占该纬度范围总面积的一半以上，是全球陆地分布最集中的纬度带。而南半球的中高纬地区，特别是南纬50°—60°，几乎全部为辽阔的海洋所占据。但是北半球的极地却是一片海洋，而南半球的极地却是一块大陆。

海陆分配状况对自然地理环境有着重大的影响。由于海陆物

质组成的差异，其物理、化学性质也截然不同，特别是它们的水热条件差别很大，导致它们各自形成独特的海洋自然地理环境和陆地自然地理环境。如果地球表面是由均一物质组成的，那么自然地理环境只表现出高低纬之间的差异。实际上，地球表面分布着分配不均的海与陆。这样，就在高低纬之间差异的基础上，又加入了海陆之间差异的因素。使得自然地理环境分布规律复杂化，它既受高低纬之间差异规律的控制，又受海陆分配状况因素的影响。

就全球而论，海洋面积广大具有非常重要的自然地理意义。因为海洋是地球表面最巨大的热量蓄存库和调节器，同时又是水分的源地。所以，海洋对整个地球表面的热量和水分状况具有极其深刻的影响，对地球表面自然地理环境的形成及其特征分布规律具有重要意义。由于海陆分配不均，海洋的影响又有地区之间的差异。南北半球比较，南半球自然地理环境的海洋性更为突出。就纬度而论，北半球中高纬地区自然地理环境的大陆性最为显著；而南半球中高纬自然地理环境的海洋性最为明显。

2. 地表起伏及其地理意义

地球表面垂直起伏的变化与广大的地球表面积相比，是极其微小的。世界最高峰珠穆朗玛峰高达8848米，最深的海沟马里亚纳海沟深达11033米。也就是说，地球表面垂直高差最大值不超过20公里。在5.1亿平方公里的地球表面上，垂直起伏最大不超过20公里，显然是微不足道的。如果按比例相应缩小，用1.5毫米宽的线条，划一个直径为6.4米的大圆圈，那么地表起伏就会被平滑掉。也就是用6.4米为直径的大圆表示地球圆周，它的垂直起伏不超过1.5毫米。可见地表起伏是很不明显的。

在陆地上，高度在1000米以下的陆地占陆地总面积的71.5%，全部陆地的平均高度为875米；在海洋里，深度在3000—6000米的大洋盆地占海洋总面积的76.3%，全部海洋的平均深度为

3729米。由此可见,地球表面的起伏,基本上在+1000米到-6000米之间的范围内(图5-7和表5-6)。

表5-6 地球上各高度和深度所占的面积

陆 地			海 洋		
高 度 (米)	面积(百万 平方公里)	占全球 面积%	深度(米)	面积(百万 平方公里)	占全球 面积%
3000以上	8.5	1.6	0—200	27.5	5.4
3000—2000	11.2	2.2	200—1000	15.3	3.0
2000—1000	22.6	4.5	1000—2000	14.8	2.9
1000—500	28.9	5.7	2000—3000	23.7	4.7
500—200	39.9	7.8	3000—4000	72.0	14.1
200—0	37	7.3	4000—5000	121.8	23.9
0以下	0.8	0.1	5000—6000	81.7	16.0
			6000以上	4.3	0.8
合 计	148.9	29.2		361.1	70.8

就全球而论,地表起伏虽然不大,但这种垂直高度的变化,所造成的局部自然地理环境的变化却是极为显著的。因为随高度的变化,水热条件发生急剧改变,气候垂直变化极为显著,相应地植被、土壤随高度改变而有显著差异,形成依高度而变化的自然地理环境。位于赤道附近6000米左右高的山峰,山脚是热带景色,到山顶附近却是白雪皑皑常年冰封。几千米的垂直变化类似于由赤道到极地上万公里水平变化。或者说,在地球表面水平

方向上，南北距离上千公里内才能明显地看到自然地理环境的变化，而在山地，垂直高度变化仅几百米，就可显示出自然地理环

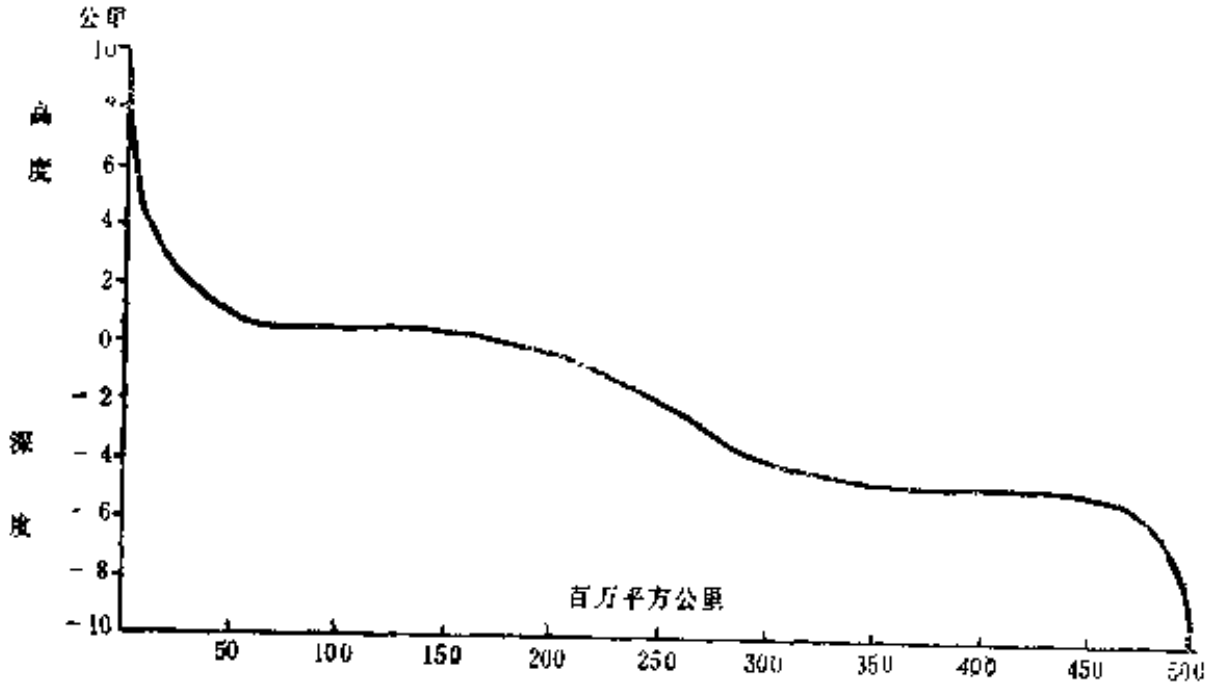


图5-7 海陆起伏曲线

境的明显改观。因此，在地球表面起伏的山地，是影响自然地理环境局部变化最重要的因素，它使得由低纬到高纬，由海洋到内陆自然地理环境有规律的变化更加复杂。

3. 世界大洋概况

地球表面浩瀚的海洋水体连续成为一个整体，称为世界大洋。依据地理位置和自然条件的差异，可把世界大洋划分为四大洋，即太平洋、大西洋、印度洋和北冰洋。

太平洋是世界第一大洋。它北以白令海峡为界与北冰洋为邻；东以南美洲的合恩角向南沿西经 68° 经线至南极洲为界线与大西洋分隔；西以通过塔斯马尼亚的东经 147° 经线与印度洋分界。东西最宽处达19900公里，南北最长处达15900公里。太平洋面积达1.8亿平方公里，占世界大洋总面积的一半。太平洋也是世界上最深的大洋，特别是它的西部岛弧附近，排列着一系列世

世界上最深的海沟，其中马利亚纳海沟深达11033*米，为世界上最深的海沟。太平洋也是岛屿分布最多的大洋，岛屿主要集中在大洋西部，其中最突出的是与海沟平行，由北向南呈弧状排列的岛弧，它象花采一样点缀在亚洲大陆的外缘。

大西洋为世界第二大洋。面积约为9千万平方公里，约为太平洋的一半。大西洋北与北冰洋直接相通，大致以北极圈为界。它的东南，以通过非洲南部厄加勒斯角的东经20°线与印度洋分界。大西洋外形最大的特征是：东西狭窄，南北延伸，略呈“S”状的水平轮廓。在大洋底的中部，有一和外形走向一致的巨大海岭，也称大洋中脊。它南北长达15000公里，东西宽度一般为1500—2000公里，占据了大西洋宽度的1/3。它是世界大洋中最大最典型的大洋中脊。在大西洋，还分布着世界大洋中最强大的暖流系统。

印度洋的面积约为7500万平方公里，次于太平洋和大西洋。它的北部被亚洲、非洲和澳大利亚大陆所包围，呈封闭状，南部敞开。东与太平洋，西与大西洋贯通。印度洋的主体部分位于赤道带、热带和亚热带范围内，所以有人称其为热带性海洋。在北印度洋上发育着最典型的季风洋流。

北冰洋是世界大洋中最小、最浅的大洋。面积仅为1300万平方公里。它位于北极圈内，被欧亚大陆和北美大陆所环抱。它也是最寒冷的大洋，常长不化的冰盖占其总面积的2/3，其余部分也有浮冰、冰山漂浮。

世界大洋的边缘部分通常称为海。海的性质除受大洋影响

马利亚纳海沟的深度各书说法不一，《世界自然地理手册》（知识出版社）1981年版（和《世界地图集》（地图出版社1978年版）中为11034米，《辞海》（辞书出版社1976年版）中为11022米，《世界自然地理》（高等教育出版社1986年版）中为11521米，《地球知识乐园》（高等教育出版社，1983年版）和《地质学基础》（高等教育出版社1982年版）中为11033米。

外，还受邻近大陆的影响。根据其位置特征，海又分为边缘海、地中海和内海。

边缘海位于大陆边缘，与大洋直接相连，但又被成列岛屿与大洋隔开。如白令海、日本海、黄海、东海等。

地中海又叫陆间海，它位于两块大陆之间，有狭窄的海峡与大洋相通。如地中海、加勒比海等。

内海是深入大陆内部的海，以狭窄的水道与大洋相通。面积较小，海水较浅。受周围大陆影响显著。如渤海、黑海等。

世界海洋不仅对全球的自然地理环境有着重大的影响，同时，它也为人类提供着丰富的矿产资源、生物资源、化学资源和动力资源。为此，海洋开发成为当今世界各国普遍重视的重大课题之一。

4. 世界大陆概况

在辽阔的洋面上，分布着大大小小的陆地，面积大的称为大陆，面积小的称为岛屿。澳大利亚大陆是地球上最小的大陆，格陵兰是最大的岛屿。世界上的大陆与岛屿的划分，就是以它们为界。

世界大陆共分为6块：欧亚大陆、非洲大陆、北美大陆、南美大陆、南根大陆和澳大利亚大陆。以大陆为主体，包括其附近的岛屿在内，世界划分为7大洲。欧亚大陆以乌拉尔山脉—乌拉尔河—里海—高加索山脉—博斯普鲁斯海峡—达达尼尔海峡为界，分为亚洲与欧洲。其他分别为非洲、北美洲、南美洲、南极洲和澳洲（大洋洲）。

大陆和岛屿在世界大洋中的分布具有如下特征：

除南极大陆外，其他大陆似乎都是南北成对分布。如北美和南美、欧洲和非洲、亚洲和澳大利亚。

大部分大陆的外形好象一个底边朝北的三角形，北宽南窄。如欧亚大陆、非洲大陆和北美大陆、南美大陆。

表5-7 各大洲的大陆和岛屿面积及高度

洲名	总面积 (万平方公里)	大陆面积 (万平方公里)	岛屿面积 (万平方公里)	平均高度 (米)	最大高度 (米)
亚洲	4400	4130	270	950	8848.13
欧洲	1060	985	75	300	5633
非洲	3020	2958	62	650	5895
北美洲	2423	2013	410	700	6195
南美洲	1797	1782	15	600	7010
澳洲 (大洋洲)	897	764	133	400	5030
南极洲	1400	1303	7	2350	4225

除南极大陆外，其他各大陆都是东部凸出，西部凹进。

大多数岛屿都分布在大陆东岸附近，而西岸海域岛屿较少。如欧亚大陆、北美大陆、澳大利亚大陆等东部的岛屿都多于西部。

由于各大陆所处的半球位置、纬度位置、海陆位置不同，以及它们的大小和地形起伏的差异，使得各大陆的自然地理环境及季节变化规律也各不相同。欧亚大陆和北美大陆同位于北半球，且主体部分都处于中高纬地区，所以在自然地理环境特征上有许多相似之处，又因其大小和地形的差异，所以又有相异之处；赤道横贯非洲大陆和南美大陆，它们在自然地理环境上也有很多相近之点，但非洲大陆面积更加辽阔，地势以高原为主，所以其自然地理环境更具大陆性的特色。面积最小的澳大利亚大陆处于南半球副热带，南极大陆完全位于极区，它们的自然地理环境又独具一格。

第四节 地球与人类

一、地球是人类的发源地

地球从形成到现在大约度过了46亿年。在这漫长的岁月里，地壳运动、海陆变迁、生物演化、气候寒暖干湿交替……所有这一切都在建造着同时也在改造着地球表面自然地理环境。这些过程将永远进行着，推动着地球不断地发展演化。

在地球表面自然地理环境的演化过程中，各个环境因素（太阳辐射能、大气、水、生物、土壤等）所提供的物质和能量状况，为人类的产生和发展创造了基础条件。大约在200万到300万年前，地球上开始出现了人类。从此地球步入了一个崭新的阶段，成为人类的世界。

地球养育着人类，人类活动又在不断地改造着地球。地球为

人类的生存主要是提供了环境和资源这两方面的基础条件。而人类活动也就是通过对环境的改造和资源的消耗来影响地球的。也就是说，人类对地球的影响，就意味着对人类自身生存的基础条件的改变。这种改变对人类生存究竟是有利？还是不利？其发展趋势又怎样？这是当今世界人类所共同关心的问题，也是地理学研究的核心问题。

二、人口的增长及其后果

地球上自从出现人类以后，在相当长的时期内，人口的增长速度是非常缓慢的。自18世纪产业革命以来，人口数量才得到迅速发展，特别是从20世纪50年代起，人口更以惊人的速度猛增（见表5-8）。

表5-8 世界人口增长情况

公元	1750年	1800年	1850年	1900年	1950年	1970年	1980年
世界人口数 (亿)	8	10	13	17	25	39	44

从表5-8中可以看出，从史前直到公元1750年，世界人口仅发展到8亿。此后200年内，每隔50年，人口增加的数量分别为2亿、3亿、4亿、8亿，到1950年世界人口达25亿。从1750年到1950年，仅200年，世界人口净增了2倍多，而从1950年到1980年，仅仅30年，世界人口又净增了19亿！预计到2000年，世界人口将超过60亿，到21世纪后半叶，世界人口将达到110亿！

由于世界人口的剧增，给地球施加的负担愈来愈重。地球经过亿万年的演化所建立起来的，同时也是孕育人类诞生并促进其发展的生态环境，遭到了破坏，自然资源遭到了巨大的消耗。

水，过去一向认为是取之不尽用之不竭的资源，现在完全不是这种情况了，区域性水源短缺和水质恶化，在世界许多地区已经相当严重；土地资源，由于盐碱化、沙漠化日趋严重而破坏着

它的生产能力；森林资源，由于大量的砍伐，数量锐减，它的保持水土，涵养水源，调节气候，净化环境等方面的功能受到削弱。从矿产资源来看，由于它是不可再生的资源，问题更加突出。特别是能源的消耗更是巨大的。这些有限的而又不可再恢复的资源，尽管尚能维持几十年，几百年，甚至更长的一些时间，但面临枯竭的问题终要到来。

由于人类大量地不合理地消耗资源，排出大量的废气、废水、废渣，严重地污染着环境，使环境质量下降。大气中二氧化碳和其他有害成分的增加，酸雨在许多地区已经构成对生物和人类严重的威胁。大量农药的使用，土壤遭到污染，水质下降等等。人类赖以生存的环境恶化了。

三、人—地要协调发展

人类的发展对养育他们的地球所造成的影响及其对人类自身的威胁日益暴露出来。人口、资源、环境问题已经成为世界各国普遍关注的全球性问题。同时，人们也在采取各种措施，如“绿色革命”，海洋开发，开辟新能源改变能源结构，防止和治理环境污染，保护生态环境等，以实现或缓和解决资源危机，恢复和创建适宜于人类生存的良好环境。

人类是地球演化发展的产物，人类是地球的重要组成部分，但又区别与其他自然界组成成分，他是“社会人”。人类和地球构成一个庞大的多层次的复杂系统，如何使这个系统的结构合理，功能处在最佳状态，这是个十分复杂的问题。近年来对这个问题探讨非常活跃，人地关系的协调理论，人类能动地控制人地关系的理论，已得到普遍重视。所谓协调，就是要使人类活动顺应地理环境发展的客观规律，人类更充分合理地利用资源，并创造良好的环境；同时，要对已经遭到破坏了的不协调的人地关系，进行治理和调整。所谓控制，就是要根本改变人地关系发展的自发状态，在科学分析和预测的基础上，建立人类定向改造或

自觉控制的人地关系。

在这个理论指导下，有效地控制人口的增长，合理地规划和利用自然资源，全面地治理和保护环境，促进人—地协调发展，完全可能把地球建造成繁荣昌盛的人类世界。

本章总结

一、地球的基本特征是在长期发展过程中逐渐形成的，现在的状况仅是它演化过程中的一幕。研究地球的基本特征是为了更好地了解其发展演化规律，预测它的未来，以便更好地为人类服务。

二、地球的形状、海陆分布、地形起伏等是地球表面的基本特征，也是影响自然地理环境的基本因素，它导致了自然地理环境高低纬之间，海陆之间，地区之间的差异性。

三、地球结构是复杂的，其基本的特征是圈层结构。各个圈层之间相互渗透，相互影响，不断地进行着物质和能量的转换，推动着地球发展演化。

四、地球的能量来源主要是内生能和外来能。内生能的作用主要表现在地壳运动，火山活动和地震等现象；外来能主要维持着生命活动，大气运动 and 水的相变等方面。由大气、水、生物和地壳表面所组成的地理环境，在外来能和内生能的共同作用下，建造发展起来，并且哺育了人类。

五、人类的活动对地理环境有着深刻的影响。人—地之间是协调发展的关系，人类活动必须顺应地理环境发展的客观规律。了解和研究地理环境的规律性，处理好人类活动和地理环境之间的关系，就是我们学习地理科学的主要任务。

复 习 题

1. 地球的形状有何地理意义?
2. 如何测量地球的大小?
3. 简述地球重力、磁场分布状况及其实际意义。
4. 简述地球内部温度分布状况及其表示方法。
5. 概述地球的圈层结构。
6. 概述地球表面结构特征及其地理意义。
7. 如何正确理解人—地之间的关系?

附 录

一、天文上常用的距离单位

1. 1天文单位(日地平均距离) = 14960万公里
2. 1光年 = 94610亿公里 = 63240天文单位
3. 1秒差距 = 3.26光年 = 206265天文单位

二、不同级别天体系统的大小

- 总星系(目前观测的最远距离): 360亿光年
- 本超星系团半径: 3000万光年
- 本星系群半径: 100万光年
- 银河系半径: 5万光年
- 太阳系半径: 59亿公里
- 日地平均距离: 14960万公里
- 月地平均距离: 38万公里
- 地球平均半径: 6371公里

三、有关太阳的数据

1. 质量: 2×10^{27} 吨(地球 = 1 太阳 = 333400)
2. 平均半径: 696000公里(地球 = 1 太阳 = 109)
3. 平均角直径: $31'59''.3$
4. 体积(地球 = 1): 1300000
5. 平均密度: 1.41克/厘米³
6. 日面重力加速度: 27360厘米/秒²
(地球 = 1 太阳 = 27.9)
7. 太阳常数: 1.97卡/厘米²·分
8. 太阳每分钟辐射出的能量: 558×10^{25} 卡/分
9. 地球每分钟获得的太阳辐射能: 2.5×10^{18} 卡/分
占太阳辐射总量的1/22亿
10. 日面有效温度: 5770 K
11. 太阳中心温度: 1500万 K

12. 视星等: -26.8
13. 绝对星等: 4.6
14. 主要成分(按质量): 氢占71% 氦占27%
15. 年龄: 50亿年
16. 太阳活动周期: 11年

四、有关月球的数据

1. 质量: 7.35×10^{22} 吨(地球=1 月球=1/81)
2. 平均半径: 1738公里(地球=1 月球=3/11)
3. 平均角直径: $31'5''$.2
4. 体积(地球=1): 1/49
5. 平均密度: 3.34克/厘米³(地球=1 月球=3/5)
6. 月面重力加速度: 162厘米/秒²(地球=1 月球=1/6)
7. 月地平均距离: 384404公里
最近距离: 363300公里
最远距离: 405508公里
8. 轨道偏心率: 1/18(变化在1/15—1/23之间)
9. 黄白交角: $5^{\circ}9'$ (变化在 $4^{\circ}58'$ — $5^{\circ}20'$ 之间)
10. 月球赤纬: 最大 $\pm 28^{\circ}35'$
最小 $\pm 18^{\circ}17'$
11. 恒星月: 27.3217日(即27日7时43分11秒)
12. 朔望月: 29.5306日(即29日12时44分3秒)
13. 近点月: 27.5546日(即27日13时18分33秒)
14. 交点月: 27.2122日(即27日5时5分36秒)
15. 公转平均角速度: $13^{\circ}.2/\text{日}$
16. 月面温度: $+127^{\circ}\text{C}$ — -183°C
17. 满月时视星等: -12.7
18. 年龄: 46亿年

五、星座表

88星座表

序号	中文名	拉丁名	符号	星数	位置
1	仙女	Andromeda	And	100	北
2	唧筒	Antlia	Ant	20	南
3	天燕	Apus	Aps	20	南
4	宝瓶	Aquarius	Aqr	90	
5	天鹰	Aquila	Aql	70	北
6	天坛	Ara	Ara	30	南
7	白羊	Aries	Ari	50	
8	御夫	Auriga	Aur	90	北
9	牧夫	Bootes	Boo	90	北
10	雕具	Caelum	Cae	10	南
11	鹿豹	Camelopardalis	Cam	50	北
12	巨蟹	Cancer	Cnc	60	
13	猎犬	Canes Venatici	CVn	30	北
14	大犬	Canis Major	CMa	80	南
15	小犬	Canis Minor	CMi	20	南
16	摩羯	Capricornus	Cap	50	
17	船底	Carina	Car	110	南
18	仙后	Cassiopeia	Cas	90	北
19	半人马	Centaurus	Cen	150	南
20	仙王	Cepheus	Cep	60	北
21	鲸鱼	Cetus	Cet	100	南
22	蝎蜓	Chamaeleon	Cha	20	南
23	圆规	Circinus	Cir	20	南
24	天鸽	Columba	Col	40	南

续表

序号	中文名	拉丁名	符号	星数	位置
25	后发	Coma Berenices	Com	53	北
26	南冕	Corona Austrina	CrA	25	南
27	北冕	Corona Borealis	CrB	20	北
28	乌鸦	Corvus	Crv	15	南
29	巨蟹座	Crater	Crt	20	南
30	南十字	Cru	Cru	30	南
31	天鹅	Cygnus	Cyg	150	北
32	海豚	Delphinus	Del	30	北
33	剑鱼	Dorado	Dor	20	南
34	天龙	Draco	Dra	80	北
35	小马	Equuleus	Equ	10	北
36	波江	Eridanus	Eri	100	南
37	天炉	Fornax	For	35	南
38	双子	Gemini	Gem	70	
39	天鹤	Grus	Gru	30	南
40	武仙	Hercules	Her	140	北
41	时钟	Horologium	Hor	20	南
42	长蛇	Hydra	Hya	130	南
43	水蛇	Hydrus	Hyi	20	南
44	印第安	Indus	Ind	20	南
45	蝎虎	Lacerta	Lac	35	北
46	狮子	Leo	Leo	70	
47	小狮	Leo Minor	LMi	20	北
48	天兔	Lepus	Lep	40	南
49	天秤	Libra	Lib	50	

续表

序号	中文名	拉丁名	符号	星数	位置
50	豺狼	Lupus	Lup	70	南
51	天猫	Lynx	Lyn	60	北
52	天琴	Lyra	Lyr	45	北
53	山案	Mensa	Men	15	南
54	显微镜	Microscopium	Mic	20	南
55	麒麟	Monoceros	Mon	85	南
56	苍蝇	Musca	Mus	30	南
57	矩尺	Norma	Nor	20	南
58	南极	Octane	Oct	35	南
59	蛇夫	Ophiuchus	Oph	100	北
60	猎户	Orion	Ori	120	南
61	孔雀	Pavo	Pav	45	南
62	飞马	Pegasus	Peg	100	北
63	英仙	Perseus	Per	90	北
64	凤凰	Phoenix	Phe	40	南
65	绘架	Pictor	Pic	30	南
66	双鱼	Pisces	Psc	75	
67	南鱼	Piscis Austrinus	PsA	25	南
68	船艙	Puppis	Pup	140	南
69	罗盘	Pyxis	pyx	25	南
70	网罟	Reticulum	Ret	15	南
71	天箭	Sagitta	Sge	20	北
72	人马	Sagittarius	Sgr	115	
73	天蝎	Scorpius	Sco	100	
74	玉夫	Scoultor	Scl	30	南

续表

序号	中文名	拉丁名	符号	星数	位置
75	盾牌	Scutum	Sct	20	北
76	巨蛇	Serpens	Ser	60	北
77	六分仪	Sextans	Sex	25	南
78	金牛	Taurus	Tau	125	
79	望远镜	Telescopium	Tel	30	南
80	三角	Triangulum	Tri	15	北
81	南三角	Triangulum Australe	TrA	20	南
82	杜鹃	Tucana	Tuc	25	南
83	大熊	Ursa Major	UMa	125	北
84	小熊	Ursa Minor	UMi	20	北
85	船帆	Vela	Vel	110	南
86	室女	Virgo	Vir	95	
87	飞鱼	Volans	Vol	20	南
88	狐狸	Vulpecula	Vul	45	北

说明：“星数”指肉眼能见的恒星数目，即视星等亮于6等的星数。

“位置”以黄道北南划分，跨越黄道的星座空白。

六、北半球中纬地区各季节最亮星

可见 季节	星名(中文名)	光谱型 (颜色)	距地球 (光年)	目视 星等	绝对 星等	表面有 效温度 (K)	半径 (地球 =1)
春 季	大犬座 α (天 狼星)	A0 (白)	8.7	-1.45	1.45	9970	1.68
	船底座 α (老 人星)	F0 (白)	196.0	-0.73	-4.59	7460	46
	御夫座 α (五 车二)	G0 (黄)	45.0	0.08	-0.59	5280	14
	小犬座 α (南 河三)	F5 (淡黄)	11.4	0.35	2.67	6510	2.07
	双子座 β (北 河三)	K0 (橙)	36.0	1.15	0.97	4830	9
	狮子座 α (轩辕 十四)	B8 (青白)	84.0	1.32	-0.67	12200	3.6
夏 季	牧夫座 α (大 角)	K0 (橙)	36.0	-0.06	-0.24	4400	23
	半人马座 α (南 门二)	G2 (黄)	4.3	-0.01	4.42	5800	1.2
	天蝎座 α (心宿 二,大火)	M0 (红)	424	0.9 1.06	-4.64 -	3650	600
	室女座 α (角 宿一)	B2 (青白)	260	0.99	-4.48 -3.51	23900	7.9

续表

可见 季节	星名(中文名)	光谱型 (颜色)	距地球 (光年)	目视 星等	绝对 星等	表面有 效温度 (K)	半径 (地球 =1)
秋 季	天琴座 α (织女 星, 织女一)	A0 (白)	26.4	0.04	0.50	9660	2.76
	天鹰座 α (牛郎 星, 河鼓二)	A5 (白)	16.3	0.77	2.31	8010	1.68
	天鹅座 α (天 津四)	A2 (白)	1630.0	1.25	-7.21	10400	106
冬 季	猎户座 α (参 宿四)	M0 (红)	652.0	0.4— 1.0	-6.07 -5.17	3500	900
	波江座 α (水 委一)	B3 (青白)	127.0	0.48	-2.44	14500	8
	金牛座 α (毕 宿五)	K5 (橙)	68.0	0.75— 0.95	-0.81 -0.61	3900	47
	南鱼座 α (北 落师门)	A3 (白)	23.0	1.16	1.95	8800	1.6

七、有关地球的数据

1. 质量: 6×10^{21} 吨
2. 赤道半径(a): 6378.137公里
极半径(b): 6356.752公里
3. 扁率: $\frac{a-b}{a}$; 1: 298.257
4. 表面积: 约5.1亿平方公里
5. 平均密度: 5.52克/厘米³

6. 地表重力加速度：980.62厘米/秒² (纬度45°处)
7. 环绕速度：7.9公里/秒
8. 逃逸速度：11.2公里/秒
9. 日地距离：最远15210万公里
最近14710万公里
平均14960万公里
10. 公转轨道偏心率：0.0167
11. 平均轨道速度：29.8公里/秒
12. 黄赤交角：23°26'21"
13. 恒星年：365.25636日即365日6小时9分9.7秒
14. 回归年：365.24220日即365日5小时48分46.1秒
15. 近点年：365.25964日即365日6小时13分53.2秒
16. 食年：346.62003日即346日14小时52分53秒
17. 平恒星日：23小时56分4秒
18. 赤道上自转线速度：465米/秒或40176公里/日
19. 年龄：46亿年

八、地球表面结构特征数据

1. 总面积： 5.10×10^8 平方公里
其中陆地面积： 1.49×10^8 平方公里
占总面积：29%
海洋面积： 3.61×10^8 平方公里
占总面积：71%
2. 北半球陆地面积： 1.01×10^8 平方公里
占北半球面积：39%
3. 南半球陆地面积： 0.48×10^8 平方公里
占南半球面积：19%
4. 陆地平均高度：875米
5. 陆地最高点：8848.13米(珠穆朗玛峰)
6. 陆地最低点：-399米(死海)
7. 海洋平均深度：3729米
8. 海洋最深点：11033米(马利亚纳海沟)

九、四大洋的面积和深度

名称	面积(百万平方公里)	平均深度(米)	最大深度(米)
太平洋	179.63	4028	11033
大西洋	93.36	3627	8382
印度洋	74.92	3897	7725
北冰洋	13.10	1296	5449
总计	361.06		

十、世界各大洲的面积和高度

洲名	面积(百万平方公里)	平均高度(米)
亚洲	44.3	960
欧洲	9.6	340
非洲	29.8	750
大洋洲	8.9	340
北美洲	24.1	720
南美洲	17.8	590
南极洲	14.1	2200
总计、平均	148.9	875

十一、地球的圈层结构

层次	厚度 (公里)	体积($\times 10^{27}$ 厘米 ³)	平均密度 克/厘米 ³	质量 ($\times 10^{27}$ 克)	质量占整个 地球的%
大气圈				0.000005	0.00009
水圈	3.8	0.00137	1.03	0.00141	0.024
生物圈					
地壳	35	0.015	2.8	0.043	0.7
地幔	2865	0.892	4.5	4.054	67.8
地核	3471	0.175	10.7	1.876	31.5
整个地球	6371	1.083	5.52	5.976	100.0

主要参考书

- 《地球概论教程》 徐宝棻 应振华 高等教育出版社 1984年
- 《地球概论》 金祖孟 人民教育出版社 1978年
- 《地球概论》 北京教育学院 上海教育学院 海洋出版社 1982年
- 《科学技术百科全书》 天文学 科学出版社 1981年
- 《太阳系》 C·萨根等 科学出版社 1981年
- 《太阳》 叶式辉 科学普及出版社 1982年
- 《天文学导论》 陈载璋 胡中为 尹素英 科学出版社 1983年
- 《西方宇宙理论评述》 中国科技大学天体物理组 科学出版社 1978年
- 《气候纵横论》 陆巍 彭公炳 气象出版社 1980年
- 《现代科学技术概要》 浙江省委党校 浙江教育出版社 1985年
- 《自然地理学原理》 A·N斯特拉斯 A·H斯特拉斯 人民教育出版社 1981年

《自然地理基础》 南京大学地理系自然地理基础编写组 商务印书馆
1981年

《日历漫谈》 徐振翰 科学出版社 1978年

《世界自然地理手册》 刘伉 毛汉英 王守春 知识出版社 1981年

《普通水文学》 河北师大 上海师大 吉林师大地理系 人民教育出版社 1980年

《辞海》 上海辞书出版社 1978年

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 高等学校教学用书 地球概论

作者 =

页数 = 2 1 0

S S 号 = 0

出版日期 =

V s s 号 = 5 5 1 7 3 5 2 5

封面
书名
版权
前言
目录
正文