

普通高等教育“九五”教材

地球科学概论

缪启龙 林文实 吴 息 周锁铨编 著

气象出版社

内 容 简 介

本书是中国气象局“九五”期间的教材,比较系统地阐述了地球科学各个学科的基本概念、原理和知识。全书共分十章,包括地球在宇宙中的位置、大气圈、地球构造、地球地面概况、地球上的水、冰雪覆盖、生物群落与生态系统、自然地理水平地带性和垂直地带性、中国自然地理、地图投影。内容力求知识面宽阔、深入浅出、重点突出。可供大气科学、环境科学、地理科学、农学、林学等相关专业的大学本科、研究生作为教材以及相关的科技工作者参考,也可作为中学自然、地理教师作教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 58482 号

地球科学概论

缪启龙等编著

责任编辑:顾仁俭 终 审:

封面设计: 责任技编:古 今 责任校对:李 琴

出版发行:

气象出版社

出版社地址:北京海淀中关村南大街 46 号

邮政编码:100081

出版社电话:68407112

传真号码:62176428

电子邮箱:cmp@rays.cma.gov.cn

经 销:新华书店总店北京发行所

印 刷:北京昌平环球印刷厂印刷

开 本:787mm× 960mm 1/16

版 次:2001 年 3 月第 1 版

印 张:

印 次:2001 年 3 月第 1 次印刷

字 数: 千字

印 数:1~4000

定 价:23.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

《地球科学概论》是中国气象局“九五”期间的教材之一(南京气象学院主编,中山大学参加)。比较系统地阐述了地球科学各个学科的基本概念、原理和知识。由于地球是一个有序的巨系统,各个子系统之间是相互联系、相互影响的,地球科学研究的范围十分广泛,研究的对象极为复杂多样,是一门综合性很强的学科。因此,编写时注意以系统论的观点来组织教材,并要求内容广泛、深入浅出。在阐述地球科学一般基础理论的同时,注意到中国自然地理状况;在教材的最后还增加了地图投影的基本知识,以使读者能够识别、使用各种不同的地图。

本书由缪启龙主编,参加编写的有林文实(第三、五、六章)、吴息(第一、七、九章)、周锁铨(第四章)、缪启龙(第二、八、十章),全书的统稿、修改和定稿由缪启龙负责。

本书的出版得到了中国气象局科教司高教处和处长邓金宁、南京气象学院教务处、环境科学系、中山大学大气科学系的大力支持,南京气象学院翁笃鸣教授对大纲提出了具体的修改意见,气象出版社第一编辑室主任陶国庆、编审顾仁俭先生给予极大的关心,在此一并表示真诚的谢意。

由于我们的水平有限,内容难免有不妥和错误之处,祈望批评指正。

缪启龙 于南京气象学院

2000 年 11 月

目 录

前言

第一章 地球在宇宙中的位置	()
1.1 地球与宇宙	()
1.2 天球与天球坐标系	()
1.3 时间的计量	()
1.4 季节与昼夜	()
第二章 大气圈	()
2.1 大气圈的组成及结构	()
2.2 气象要素的特征、变化和分布	()
2.3 天气和天气系统、天气预报	()
2.4 地球上的气候带	()
2.5 气候的变化	()
第三章 地球构造	()
3.1 地球的圈层构造	()
3.2 大地构造学说	()
3.3 火山与地震	()
第四章 地球表面概况	()
4.1 地球表面形态及其演化	()
4.2 地形形成的基本规律及地貌表现	()
4.3 世界地形概述	()
第五章 地球上的水	()
5.1 地球上的水体	()
5.2 陆地上的水	()
5.3 海洋	()
5.4 海水的运动	()
5.5 海洋温度	()
第六章 冰雪覆盖	()
6.1 极地冰盖	()
6.2 冰川	()

第一章 地球在宇宙中的位置

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,形成地球表面独具一格的物质世界,称之为地理环境,是地球科学研究的主要对象之一。而地球又处在更大的宇宙环境之中,为更好地了解人类生存的地球环境,了解和研究地球在宇宙中的位置是很有必要的。

1.1 地球与宇宙

1.1.1 宇宙的概念

1. 宇宙的起源

宇宙是普遍、永恒的物质世界。我国古语曰:“四方上下曰宇,古往今来曰宙”。“宇”指无限空间的意思,“宙”指无限时间的意思,宇宙是空间和时间的统一体。宇宙不是一个抽象的概念,它是由物质所组成,在广袤深邃的宇宙中存在着各种天体以及弥漫物质,其表现形态多种多样,复杂万端。宇宙中的一切物质都处于不断地运动和变化之中。

宇宙的形态究竟是怎样的?它是如何形成的?这是历代各国科学家和哲学家们长期探索的重要问题,至今人们对于宇宙的认识还在不断取得新的进展。

在17世纪,伽利略、牛顿在经典力学体系的基础上,建立了宇宙无限无边的理论,即宇宙的体积是无限的,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,无论是在哲学上还是在自然科学上,在20世纪初已为多数人所接受。

1917年,爱因斯坦在广义相对论的基础上,提出了有限无界的静态宇宙模型。认为宇宙是有限无边的,即宇宙空间的体积是有限,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,但沿着球面运动总是遇不到“边”。爱因斯坦关于时间、空间、引力的全新理论,拉开了现代宇宙学研究的序幕。1924年,弗里德曼在广义相对论的框架下,从理论上论证了宇宙要么膨胀,要么收缩,决不会保持静止状态。1929年,哈勃在仔细研究了一批星系的光谱之后发现,除个别例外,绝大多数星系的光谱都表现出红移现象,而且红移量大致与星系的距离成正比。如果将红移解释为多普勒效应,那就意味着所有星系都在离开我们而去,其退行速度正比于同我们的距离。这个关系被称为哈勃定律,比例常数称为哈勃常数。这一发现为弗里德曼的宇宙

模型提供了直接的观测数据,动摇了宇宙静止的传统观念,即宇宙在不断膨胀。按照这个结论来推理下去就意味着过去必定存在一个有限的时刻,那时宇宙中的物质被压缩为极高密度的状态,这个时刻被称为“大爆炸”,也就是宇宙的起源。有人设想“大爆炸”时的宇宙温度可达 10^{32} K,随着宇宙的膨胀,辐射温度不断下降,但始终保持着黑体谱形和总体均匀性。伽莫夫的计算结论是:作为“大爆炸”过程的遗迹,目前宇宙中应普遍存在温度约 5 K 的背景黑体辐射。1964 年,美国贝尔电话实验室的彭齐亚斯和威尔逊用一架卫星通讯天线在 7.35 cm 波长处偶然探测到一种来自宇宙空间的强度与方向无关的辐射信号,引起天文学家们的注意,进行了大量的调查。1989 年,美国宇航局专门为此发射了宇宙背景探测者卫星,观测数据表明,该辐射的谱分布与 2.735 K 的黑体辐射完全相合,天空不同方向的相对温差小于十万分之一。这就证明了背景辐射的黑体性和普适性。这种“背景辐射”的存在是“大爆炸”模型最令人信服的证据之一。

2. 宇宙中的天体和物质

宇宙的统一性在于它的物质性,即任何宇宙空间无一不是物质的或由物质构成的,但宇宙中的物质的存在形式具有多样性,一部分物质以星际物质(气体、尘埃)等形式连续弥散在广阔的空间,另一部分物质则积聚成团,表现为各种堆积形态的积聚实体,如地球、月球、行星、恒星和星云等,通常将包括星际物质和各种积聚态实体在内的所有宇宙星体统称为天体。

(1) 恒星

恒星是宇宙中最主要的天体,肉眼所见的天体绝大多数都是恒星,它们集中了宇宙中相当部分的质量,是由炽热气体组成的能够自身发光的球形或类球形的天体。维持恒星辐射的能源主要是热核反应,其内部温度必然很高,但其表面温度差异很大,最热的恒星表面温度可达几万到几十万度,最冷的仅有二三千度,太阳表面温度约为 6000 K 左右。恒星都具有巨大的质量,大多数恒星的质量在 0.1 ~ 10 倍太阳质量之间。大的恒星直径是太阳的 2000 倍左右,小的恒星直径小于 1000 km,恒星的平均密度相差也很悬殊,从水的密度的几千万分之一到千万倍以上。

恒星也有生有灭,其生命史是漫长的,演化是非常缓慢的。恒星的演化过程分为四个阶段: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(晚年期)。恒星处于生命史发展的不同阶段,发光特性也不同。

地球上观测到的恒星的明亮程度被称为亮度,常用星等来表示。通常星等指视星等,即地球上观测到的星光视亮度。古人将肉眼所见的恒星亮度分为六个等级,其中 15 个最亮的恒星称为一等星,肉眼所见的最暗的星称为六等星。现代人们将视星等与亮度的关系确定为:一等星比六等星亮 100 倍,即视星等每差一等,亮度相差 2.512 倍。星等可以是小数或负数,如天狼星是 - 1.45 等,太阳是 - 26.8 等。恒星的亮度受与地球的距离影响,并不完全代表恒星的发光能力。将恒星亮度统一归算到距地球 32.6 光

年处时的星等称为绝对星等,它能比较不同恒星的真正发光本领,也被称为光度,如太阳的绝对星等是 4.9 等。

(2) 银河系与河外星系

星系是恒星的巨大集团,是由几十亿至几千亿颗恒星以及星际气体和尘埃物质等构成,占据几千至几十万光年空间的天体体系。

太阳和地球所在的星系叫银河系,因其在天穹上显现一条乳白色亮带——银河而得名。银河系恒星总数大约一二千亿颗,其相当大一部分是成群成团分布的,有成对的双星,三、五互有联系的恒星组成的聚星和十个以上的恒星组成的星团。银河系内,除恒星外,还有各种类型的银河星云、星际气体和尘埃。银河星云是由星际气体和星际尘埃所组成的,有云雾状外表的天体,有亮星云、暗星云、行星状星云和弥漫星云等类型。星际气体和尘埃合称星际物质,据估计在银河系星际物质和恒星总质量不相上下。

银河系以外的星系,统称为河外星系,目前观测到的与银河系同样量级的星系有 10 亿个以上。星系的形状和结构是多种多样的,按照形态可分为旋涡星系、椭圆星系、棒旋星系、透镜星系和不规则星系等几种主要类型。肉眼能看到的河外星系只有仙女座星云和大、小麦哲伦星云。

通常把我们观测所及的宇宙部分称为总星系,它是人类目前所认识的宇宙最高级的天体系统,但它不是全部宇宙,而仅仅是宇宙的一部分。

1.1.2 地球与太阳

1. 太阳系

太阳系是太阳和以太阳为中心、受它的引力支配而环绕它运动的天体所构成的系统。在太阳系中,太阳的质量占太阳系总质量的绝大部分,约占 99.8%,其它天体的质量总和只占约 0.2%。太阳以它巨大的引力支配环绕它运动的成员,并不断地供给它们以光和热。

太阳系中的其他主要成员有行星和环绕行星的卫星。太阳系中已经发现的九大行星,依照与太阳距离由近到远的顺序,依次为水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。距太阳较近的四颗大行星(水、金、地、火)被称为类地行星,其特点是质量小,体积小,卫星数少,平均密度较大,表面温度较高,公转周期较短,自转周期较长。而木、土、天王、海王四颗行星称为类木行星,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,自转周期短。如木星的质量和体积分别是地球的 317 倍和 1316 倍,绕它旋转的卫星多达 16 个,它的平均密度为 1.33 g/cm^3 ,是地球平均密度(5.52 g/cm^3)的 0.24 倍,公转周期 11.86 年,自转周期 9 小时 50 min。距太阳最远的冥王星按其大小、质量近似类地行星,而表面温度、公转周期又近于类木行星(图 1-1)。

图 1-1 太阳系、地球在太阳系中的位置

除大行星外,围绕太阳运行的还有数以万计的小行星,它们主要分布在火星和木星轨道之间。大多数小行星都很小,直径只有几十公里,甚至几公里,较大的可达200 km以上。小行星的外形很不规则,它们也都进行着自转。

太阳系里还有大量的质量很小的天体,彗星和流星体。其中彗星是一种质量较小,具有云雾状外貌,多数绕太阳作闭合轨道运动的天体,但它们的轨道偏心率很大。彗星一般由彗头和彗尾两部分组成。彗头的核心是彗核,它集中了彗星的主要质量,由冻结了的甲烷、氨、二氧化碳等气体所组成,也有一些石质物体和尘埃质点,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 km,彗发的直径可达几万公里,彗尾可长达1亿 km。彗发和彗尾由极稀薄的气体组成,密度极小。彗星的轨道大体分三类;椭圆轨道、抛物线轨道和双曲线轨道,大部分彗星的轨道是围绕太阳的很扁的椭圆,它们的周期相差很大,由数年至数千年,如著名的哈雷彗星的周期是76年。少数彗星沿抛物线或双曲线轨道飞行,它们绕过太阳后,就不再复返,属于非周期性彗星。

在太阳系行星际空间游动着大大小小的固体块和尘粒,称为流星体。当它们临近地球时,受地球引力的吸引,进入地球大气层,因摩擦发热而燃烧发光,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,大的可有几十到几百吨。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,叫做陨石或陨星。按其组成成分可分为三类:铁陨石,石陨石和石铁陨石。

2. 太阳

太阳是太阳系唯一的恒星。它是太阳系的中心天体,也是太阳系的质量中心、引力中心和运转中心。太阳是一个巨大的能量源,不断地向四周射出大量的光和热。到达地球上的热能仅是太阳所射出的热能的极微小部分,却是地球上能量的主要来源。因此,日地关系密切,太阳的光和热是地球上一切生命的源泉,也是地球上大气运动和气

候形成的重要因子。

(1) 日地距离及太阳的大小、质量

地球在一个椭圆轨道上绕太阳公转,太阳位于椭圆的一个焦点上,所以日地距离一年中不断变化,日地最远距离(地球位于远日点)为 15210 万 km,日地最近距离(地球位于近日点)是 14710 万 km,日地平均距离为 14960 万 km。用雷达探测方法算出日地距离精确数值是 1.49597892×10^8 km。日地平均距离在天文学上作为一个长度单位,称为天文单位。

地球上看到的光亮的太阳圆面,叫太阳视圆面。通过子午仪或其他仪器可测得太阳圆面直径(称视直径)所张的角度平均为 $31'59''.3$ 。由日地距离和视半径的张角可知太阳的半径约为 696000 km。是地球半径的 109 倍。太阳的体积大约是地球的 130 万倍。

由万有引力定律及有关物理定律可推得太阳的质量约为 1.989×10^{27} t,相当于地球质量的 33 万多倍。太阳的平均密度为 1.41g cm^3 ,约为地球平均密度的 $1/4$ 。太阳各部分的密度相差悬殊,表面稀疏,中心密集。

(2) 太阳的结构

太阳是一个体积、质量巨大的炽热气体球,由等离子体所组成。我们只能观察到太阳表面的一些状态和性质,而对其内部无法直接观测,但通过对太阳基本数据的观测和与观测相符合的理论推求,以及在地球上已证实的氢核聚变的反应率、物质传播辐射的机制等物理规律,可以推测出太阳内部的结构(图 1-2)。太阳整个都是气体,内部为稠密的气体,外部是稀薄的气体,将太阳的外层稀薄气体称为太阳大气。目前认为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 $1/4$ 太阳半径范围内是进行热核反应产生能量的区域,这个区域体积只占太阳体积的 $1/64$,却集中了太阳质量的一半。这里温度高达 1500 万 K,压力可达 3000 亿个地球大气压。在太阳中心区域这种超高温高压条件下,不断进行着大规模的氢热核聚变反应,释放出巨大的能量。

辐射区 核反应区的外面是能量辐射传输区。热核反应产生的辐射能量在这里通过太阳各层物质的吸收、发射、再吸收、再发射的过程向外输送。热核反应产生的高能 γ 射线经过这个过程逐步降低频率,最后成为太阳向空间辐射的较低能量的可见光和其他形式的辐射。

对流区 位于辐射区外,是太阳内部稠密大气的最外层,由辐射区输送的能量使这里温度达几万度到几十万度,稠密炽热的气体处于升降起伏的对流状态。在太阳大气中产生的各种活动现象(如黑子、耀斑等)都与对流区的活动有关。

太阳大气是太阳外层的稀薄大气按其物理性质的不同,又能将其划分为三个层次:

图 1-2 太阳结构示意图

光球 肉眼所见太阳的耀眼夺目的太阳视表面就是光球。它是太阳的明晰界限,通常意义下的太阳表面就是指的光球,太阳的直径也以光球为界。它在太阳大气的最底层,厚度仅约500 km。我们平常所观测的太阳光基本都是从这一层发出的。光球的温度由里向外逐渐降低,底部温度约 6000 K,顶部温度在 4000 ~ 5000 K 之间。光球温度与太阳内部形成极大的温度梯度,这种温度分布显著的不均衡,造成对流区大气的剧烈的对流运动。

色球 在光球之上,称为色球。它向上延伸2000 km到10000 km的范围,厚度各处不同。它发出的可见光很少,其总量不及光球的 1%,因此,我们平常看不到色球,只有在日全食的时候,当光球的强烈光线被月球所掩蔽时,可以看到这个发出非常美丽的玫瑰红色的辉光的气层,因此称为“色球”。色球的结构是不均匀,其边缘不像光球那样清晰整齐,由许多细小的“火舌”组成,致使它的边缘呈锯齿状。“火舌”是上升的气流,对色球边缘的高分辨率观测显露出色球层的精细结构,主要包含着高速的明亮喷射气流,称为“针状物”,它们在色球层中不断产生,并不断消失,平均存在时间大约 5 ~ 10 min

左右。色球的温度随高度而增加,色球底层几千度,到高层达几万度。

日冕 在日全食的时候或使用日冕仪可观测到一圈白光和淡黄光裹住了日轮,这就是日冕。它是太阳大气的最外层,范围可延伸到十几个太阳半径的地方,其物质极其稀薄,它的亮度仅及色球的千分之一。日冕的形状经常在变化,厚度也处处不同。在太阳活动极大期,日冕呈圆形,太阳活动极小期的日冕在太阳两极缩短,在太阳赤道带突出。日冕的温度极高可达 $100 \sim 200$ 万度。太阳光谱的远紫外线和 X 射线主要是在日冕中产生,太阳的射电辐射的大部分也产生在日冕中。日冕的温度极高,说明日冕中的物质是以极高的速度在运动着,日冕中的快速粒子能摆脱太阳引力场的束缚,向外膨胀而进入行星际空间,这种现象叫做“日冕膨胀”。热电离子连续不断地从太阳流出,就形成太阳风。

(3) 太阳活动现象

太阳活动就是指太阳表层的物质运动和变化过程。在太阳大气中可以观察到各种活动变化现象,如太阳黑子的出现和消失、日珥的变化、耀斑的爆发等等,此外在太阳大气中还可以观测到不断运动和变化着的米粒组织、谱斑、色球网络、针状物、喷焰等。太阳活动是太阳大气里的一切活动的总称。强烈的太阳活动能使一些波段的太阳辐射发生很大变化,并能把大量的物质粒子射入空间,影响地球磁场和大气层。太阳活动有时剧烈,有时平静,存在一个11年的准周期。当太阳活动处于低潮时,称为宁静太阳;太阳活动处于高潮时,称为扰动太阳。太阳活动主要是指扰动太阳的活动。扰动太阳的主要标志之一是太阳黑子,特别是黑子群的频繁出现,扰动太阳的另一个更重要的标志是太阳耀斑的频繁出现。耀斑是太阳上最强烈的,也是对地球影响最大的活动。

用小倍率的望远镜,甚至肉眼就可以看到在太阳光球上有一些黑的斑点,称为黑子。它是光球中的大气涡旋,其中心温度约为 4200 K ,比周围温度低一千多度,因此显得比光球暗。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、消失这一过程需要几十天。小黑子的直径在数千公里,个别发展成大黑子,直径可达 10 万 km 。大部分黑子寿命不长,常不到一天,有一些黑子的寿命达一个月以上。长期记录日面上的黑子的数目,发现有的年份黑子较多,有的年份较少,黑子数的年均值大致作周期变化,周期约为11年。

在全色光照片上能看到一种比光球更明亮一些的斑点,叫做光斑。它的温度比光球高不了多少,据测定只比周围高 $100^\circ \sim 300^\circ$;平均寿命 $2 \sim 3$ 天。光斑常出现在黑子的周围,一般环绕着黑子,与黑子有密切的关系,光斑比黑子早出现几小时或几天。在色球层中,光斑之上紧接着分布着谱斑,形状与光斑相似,是光斑在色球层的延续。谱斑的温度比周围高,大部分谱斑附近有黑子群,其寿命比黑子长,它的大小从几千公里到

几十万公里,其面积大小也是太阳活动的强弱的标志。

色球层中,有时有巨大的气柱升腾而起,如同火焰喷舌,可以达到几万公里甚至百万公里以上的高度,然后落回日面,或脱离太阳的引力而消散不见。这些气柱称为“日珥”。它是突出在太阳边缘外面的发光气团,呈朱红色。一般在日全食时利用色球望远镜或分光镜等仪器进行观测时才能被看见。日珥的形态多变,大小不一,一般长约20万 km,高约3万 km,厚约5千 km,有的变化缓慢,可以生存几个月,气流上升的速度较低,约10 km/s,有的变化剧烈,气流升腾速度到达几百公里/秒。日珥主要存在与日冕中,但下部与色球相连。日珥通常可分为宁静日珥、爆发式日珥和活动区日珥三种。宁静日珥寿命较长,可长期存在于日冕中,它在日表上表现为伸得很长的暗条。爆发式日珥比较罕见,运动速度可高达每秒几百公里。当它上升到相当高度时,会分裂出凝团和股流,然后沿着近似垂直的方向落回太阳。活动区日珥运动速度也可达每秒几百公里,一般伸展高度在10万 km以内。

耀斑是太阳上爆发现象的标志,它主要发生在色球中,是日面上局部区域亮度突增的现象,表现为特别明亮的斑点,称为色球爆发。耀斑的温度很高,达1万度左右或更高,常出现在太阳表面大黑子或黑子群附近,寿命由几分钟到几小时。耀斑活动与黑子有密切关系,在一个黑子群的存在期间,平均每7小时出现一个耀斑。耀斑是太阳大气中的一种不稳定过程,是太阳上最强烈的,也是对地球影响最大的活动现象。太阳所发射电波的强度可以在几年内不发生多大的变化,但当日面出现耀斑时,太阳射电可以一下子增强几百万倍。在耀斑爆发时除发射可见光外,还发射大量的紫外线、X射线和γ射线,还有红外和射电辐射和高能粒子流,甚至能量特高的宇宙射线。耀斑的短波辐射和带电粒子流到达地球后,会引起地球上一系列的地球物理现象,如磁暴、极光和电讯骚扰以至中断等。从日地关系方面来看,耀斑的作用比太阳黑子的作用更加直接和重要。

(4) 太阳常数

太阳辐射指其表面以电磁波方式向外传递的能量。地球上所观测到的太阳辐射,绝大部分从太阳光球发出,从色球层和日冕发出的只占极小的一部分。太阳辐射的能量主要集中在可见光波段,0.2~10.0 μm波段就占全部太阳辐射的99.9%。

表示太阳辐射能力的物理量称为“太阳常数”。它是指当日地处于平均距离时,单位时间内垂直投射于大气上界单位面积上全部波长的太阳辐射能通量。常用符号 I_0 表示,单位用 W/m^2 [1985年以前用 $cal/(cm^2 \cdot min)$]。1981年10月在墨西哥召开的世界气象组织仪器和观测方法委员会第八届会议上通过的太阳常数取值为 $1367.69 W/m^2$ 。

太阳辐射强度是相当稳定的,只有0.5%~1.0%的变化,主要表现在各种太阳活动所引起的中远紫外线、X射线和无线电波的变化(这两部分可称为非定常辐射部

分),以及微粒流强度的变化。

1.1.3 地球的卫星

月球是地球唯一的天然卫星,也是人类了解最多的天体。在地球引力的作用下,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,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。

月球是离地球最近的天体,其绕地运行也是一个椭圆轨道,月球在远地点时距离地球405508 km,近地点时为363300 km,平均距离为384404 km。由于月球距地球很近,它的视半径为 $15\ 32''.6$,与太阳的视半径($16\ 0''$)相差无几,在地球的天空,太阳和月亮是最显著的天体。实际月球半径约为1738 km,相当于地球半径的 $3/11$ 。月球表面积大约是地球表面积的 $1/14$,比亚洲面积稍小。月球的质量相当于地球质量的 $1/81.3$ 。平均密度为 3.34 g/cm^3 ,为地球平均密度的 $3/5$,这表明月球内部不像地球那样有一个很密的核心。月面上的重力加速度为 1.62 m/s^2 ,为地球的 $1/6$ 。

由于月球表面重力很小,不能保持大气层,月球表面特征与地球有很大的不同。月球表面高低起伏,其结构有环形山、山系、海、月谷和月面辐射纹等特征类型(图 1-3)。月面上较亮的部分多数是山,月面上的山主要不是山脉,而是一些相互不连接的环形山

图 1-3 月球表面形状分布

(或称月坑),山作环状,四周高起,中间平地上又常有小山,与地球上的火山口相似,大的直径在 200 ~ 300 km 以上,如贝利环形山直径 295 km。月球上也有连绵不断的山系或山脉,它的数目比环形山少得多,大多数以地球上的山命名,如亚平宁山系长达 1000 多公里。肉眼看月球表面上有一些比较阴暗的地区,过去被称为“海”,实际上它们是一些比较广阔的平原。之所以颜色较暗,是因为那里存在着大范围的熔岩流,这是月球上分布最广的地形。月海大多具有圆形封闭的特点,四周是山脉。在月球表面很多区域可以看到一种暗黑的狭窄的弯曲的线条,它们大概是月亮上的深而窄的裂缝,被称为月谷。月球上一些大环形山周围有向四方散发出去的,宽度达几百公里的光亮宽带,被称为月面辐射纹。

由于月球上没有大气,几乎接近真空,月球上没有晨昏蒙影现象,白昼和黑夜都是突然来临。白昼时温度高达 127°C ,而夜晚温度下降到 -183°C 。

1.1.4 地球的运动

地球的运动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。

地球自转是一种绕轴的转动,这个轴叫做地轴,是一个假象的轴。地球自转的方向,从北半球上空看是逆时针,从南半球上空看是顺时针,称为自西向东旋转。地球旋转一周所需的时间,叫做一日。为了确定地球自转一周,就需要在地球之外选一参考点,作为计量自转一周的开始和终止的标记。依参考点的不同,地球自转周期可分为恒星日和太阳日。

以某恒星为参考点,将地球中心和参考点中心连一直线,这一直线与地球某一子午线相割,该恒星连续两次通过同一地球子午线的时间间隔即为一恒星日。恒星日是真正的地球自转周期。而以太阳为参考点,太阳中心连续两次通过同一地球子午线的时间间隔即为一太阳日,由于地球在自转的同时绕太阳公转,公转的方向也是自西向东,如图 1-4 所示,当地球处在 E_1 时,恒星与太阳均通过地球表面 A 点所在的子午线,当地球在公转轨道上运行到 E_2 的位置时,由于地球的自转,恒星已经又一次到达 A 点,而太阳仍需待地球再自转一段时间后,才能到达 A 点,所以一个太阳日的时间间隔要比一个恒星日长。太阳日较恒星日大约长 4 min。严格地说,地球自转的速度并不均匀,有长期变化、季节变化和不规则变化。地球自转长期变化是减慢的,日长周期在一个世纪大约增加 1 ~ 2 ms,其原

图 1-4 恒星日与太阳日示意图

因被认为是地球的潮汐摩擦会使地球自转角动量减少。地球自转速度在春季变慢,在秋季加快,产生的原因与地球的水和大气的季节迁移有关。季节变化的振幅约为 20 ~ 25 ms。此外地球自转速度还存在一些不规则的变化。

地球绕太阳运动称为地球的公转。由于地球惯性力及太阳引力的联合作用的结果,地球环绕太阳和地球的共同质量中心旋转,由于太阳的质量是地球的 33 万倍,太阳和地球的共同质量中心实际上与太阳的质量中心非常接近,所以也可以说地球环绕太阳或太阳中心运转。地球公转的轨道是一个近似正圆的椭圆,太阳位于椭圆的两个焦点之一上。地球轨道上距离太阳所在焦点最近和最远的两点,位于椭圆长轴的两端,分别称为近日点和远日点。地球与每年 1 月 3 日左右经过近日点,这时日地距离约为 14710 万 km,每年 7 月 3 日左右经过远日点,日地距离约为 15210 万 km,日地平均距离约为 14960 万 km。

地球环绕太阳一周所需的时间,叫做公转周期。地球公转周期为一年,由于选取的参考点不同,周期的长度不同。经常使用的有恒星年和回归年。以恒星为参考点,地球公转 360°所需时间,称为一恒星年。一恒星年的长度为 365.256354 平太阳日。恒星年是地球真正的公转周期。回归年是以春分点为参考点,即地球两次经过春分点所需时间,长度为 365.24219 平太阳日。恒星年较回归年长 20'30",这是由于地轴进动现象使得春分点西移的结果。天文学上把这种恒星年与回归年长度不一的现象称为岁差。

1.2 天球与天球坐标系

1.2.1 天球的概念

当我们观测遥远的星空时,由于肉眼无法识别天体的远近,视觉上似乎所有天体都镶嵌在一个巨大的半球面上,这个半球形的天空称为天穹。既然天空看起来似乎是一个球面,为了便于研究天体的视位置和视运动,人们设立了一个假想的圆球,既以观测者为中心,以任意长为半径的球面,这个假想的球面就称为天球。沿观测者对于天体的视线,将该天体投射到天球球面上(图 1-5),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。天球虽是人类所假想的,却和人们所直接感受的天穹相符合,因此到目前科学上仍然保留着这个假想的圆球,作为研究天体的视位置和视运动的辅助工具。天球当然并不反映宇宙的本质,客观上也不存在。

图 1-5 天体在天球上的视位置

1.2.2 天球坐标系

为了研究天体的运动,反映天体在天球上的位置变化,需要在天球上建立坐标系。由于研究的对象和内容的不同,需建立不同的天球坐标系。常用的天球坐标系有赤道坐标、地平坐标和黄道坐标等。这几种天球坐标均为球面坐标,但它们的基本点和基本圈不同。

1. 天球上的基本点和圈

我们把地球自转轴无限延长的直线称为天轴,天轴与天球相交于两点 P 和 P' ,称为天极,对应于地球北极的 P 点叫做北天极,对应于地球南极的 P' 叫做南天极。天轴是一条假想的直线,天球绕着它作周日旋转,形成我们所见的天体东升西落的周日视运动,实际上是地球自转的反映。在天球的周日旋转中,天极 P 和 P' 是天球上不动的点,而天球上其它位置上的每一个天体 X ,随天球旋转一周后,都在天球上画出一个彼此平行的圆,称为周日平行圈。通过天球中心 O 作一平面与天轴垂直,这一平面称为天球赤道面。它与地球赤道面平行,天球赤道面与天球相交所截出的大圆称为天赤道(图 1-6a)。

图 1-6 天球上的基本点和圈

通过天球中心 O 作一直线与观测地点的铅垂线平行,它与天球相交于 Z 和 Z' 两点,交点 Z 位于观测者头顶之上,称为天顶,而 Z' 则称为天底。通过天球中心 O 作一平面与 ZZ' 垂直,这一平面称为天球地平面,它在天球上所截的大圆 $ESWN$ 称为真地平。过北天极 P 和天顶 Z 所作的大圆 $PZP'Z'$ 称为天子午圈。天子午圈和真地平相交于点 N 和点 S ,靠近北天极的 N 点称为北点,和它对应的 S 点称为南点。若观测者面向北,则在其右方距南北各点各 90° 的点 E 称为东点,而和东点相对的点 W 称为西点,东点和西点正好是天赤道和真地平的交点,点 E 、 S 、 W 、 N 合称四方点(图 1-6b)。

通过天球中心 O 作一平面与地球公转轨道平行,这一平面称为黄道面。它在天球

上截出的大圆称作黄道。过球心垂直于黄道面的直线交于天球上两点,为黄道的极,靠近北天极的极称为北黄极,相对的另一个称为南黄极。黄道面和天赤道面的夹角叫做黄赤交角,它约为 $23^{\circ}27'$ 。黄道和天赤道的两个交点 γ , Ω 分别称作春分点和秋分点(图 1-6c)。从北天极上观察,当黄道以逆时针方向由天赤道以南穿到天赤道以北时的交点为升交点,当黄道由天赤道以北穿越到天赤道以南时的交点为降交点。春分点即为升交点,秋分点就是降交点。

2. 地平坐标系

地平坐标系取以真地平为基本圈。天球上可作无数个与地平圈相平行的小圆,称为地平纬圈。通过天顶所作垂直于真地平的大圆叫做地平经圈。地平经圈和地平纬圈是构成地平坐标系的基本要素。如图(1-7a),天体 X 所经过的地平经度以南点 S 起按顺时针计量,由 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$,或从南点分别向东和向西计量,由 0° 到 $\pm 180^{\circ}$;向西为正,向东为负。地平经度常被称为方位角,记为 A ,这是地平坐标系的第一个坐标。地平坐标系的第二个坐标是地平纬度,又称地平高度,记为 h 。即天体到地平面的角距离,以地平圈起算,到天顶为 $0^{\circ} \sim +90^{\circ}$;到天底为 $0^{\circ} \sim -90^{\circ}$ 。习惯上,人们也常用天体到天顶的角距离来表示第二坐标,称为天顶距,用符号 z 表示,显然有 $z = 90^{\circ} - h$ 。

图 1-7 天体的地平坐标系与时角坐标系

3. 时角坐标系(第一赤道坐标系)

时角坐标系以天赤道为基本圈,北天极是时角坐标系的极,如图(1-7b)。过天极的大圆称为赤经圈(或时圈),与天赤道平行的小圆称为赤纬圈。时角坐标系的第一个坐标是天体 X 的赤经度,称为时角,记为 t 。从天子午圈上的 Q' 点量起,沿顺时针方向,由 0° 到 360° ;或者由 Q' 点起分别向两边计量,由 0° 到 $\pm 180^{\circ}$;向西为正,向东为负。时角的大小也可用小时来量度, $0 \sim 24$ 小时,每小时对应 15° 。第二个坐标称为赤纬,记为 δ ,也就是天体与天赤道面的角距离,从天赤道量起,向北天极方向为正,向南天极方向为负,由 0° 到 $\pm 90^{\circ}$ 。