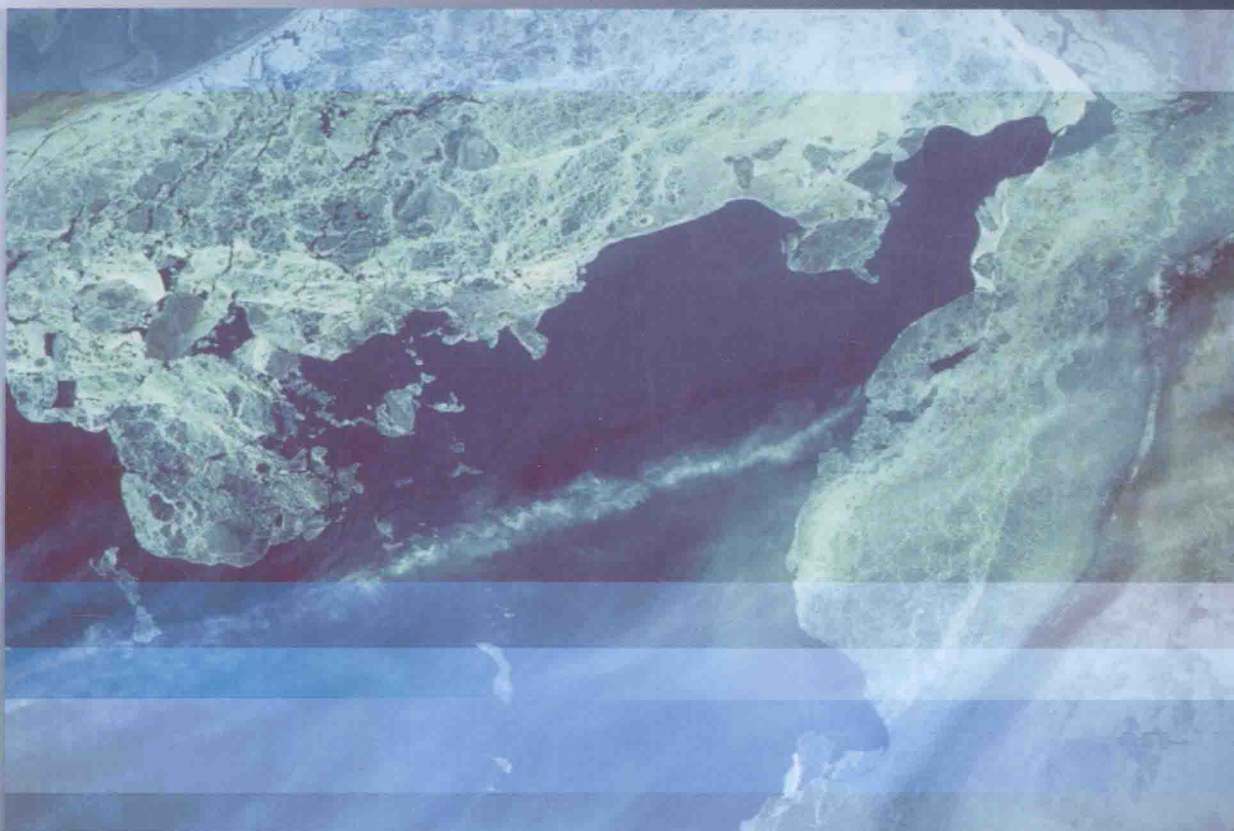


21世纪高等院校教材



地球概论 (第二版)

余明 主编



科学出版社

21世纪高等院校教材

地球概论

(第二版)

余明 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

“地球概论”是高等师范院校地理专业的一门先行的基础课,讲授的是关于地球的宇宙环境以及行星地球整体性的基础知识。

本书首先引入天体和天体系统、天球和天球坐标的概念,并简单介绍获取天体信息的主要手段以及时间历法;其次重点介绍天体的主体——恒星世界以及与地球有关的天体系统(如银河系、太阳系和地月系等),再次讨论了日月地、日地关系以及近地环境对地球的影响,以及叙述了地球运动及其所产生的地理意义,最后对地球整体性知识、地球的演化以及数字地球做了介绍。课程实验指导和常用的数据安排在附录中。

本书可作为高等院校地理科学类、生态类专业本科生的教材,同时也可供广大热爱地球科学的读者阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

地球概论 / 余明主编. —2 版. —北京: 科学出版社, 2016
21 世纪高等院校教材

ISBN 978-7-03-048766-7

I. ①地… II. ①余… III. ①地球科学-高等学校-教材 IV. ①P

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 131908 号

责任编辑: 文 杨 / 责任校对: 王 瑞

责任印制: 赵 博 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 7 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 6 月第 二 版 印张: 16 3/4

2016 年 6 月第一次印刷 字数: 391 000

定价: 48.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

《地球概论》自2010年出版发行后，得到广大师生和读者的关注和喜爱。为使教科书与科技发展同步，为了与时俱进，我们从去年开始就着手《地球概论》（第二版）修编工作。第二版教材除对原有教材做了更新及完善外，增加了“恒星世界”和“数字地球”等内容。修订后的教材共有7章，即第1章，天体及其研究方法和手段；第2章，恒星世界；第3章，银河系和河外星系概貌；第4章，太阳系及近地宇宙环境；第5章，日月地系统；第6章，地球运动及所产生的地理意义；第7章，地球的物理特征及演化。新版教材由主编本人修订完成。为了配合教材使用，原书附录实验项目指导由福建师范大学张林海博士做相应更新。

感谢“全国高等师范院校《地球概论》教学研究会”的全体老师对本教材的支持和帮助，感谢科学出版社文杨编辑的支持和帮助。

本教材对应的“地球概论”在线课程已在科学出版社在线教育平台——“中科云教育”正式上线，欢迎读者加入在线课程进行学习及下载相关资源。

由于编者水平有限，书中不妥之处，恳求读者批评指正。

余 明

2016年3月于福建榕城

第一版前言

地球是我们人类的家园。地球上的大气、海洋、地壳以及内部结构都在不断地运动和演化着，不同物质的运动都有其特殊的动力机制，它们都不同程度上都受地球重力场、地球运动及其变化等各种地球内部因素影响，也受宇宙环境中的外部因素影响。目前，地球所处的宇宙环境已得到人类极大的关注。

从哲学的观点来看，宇宙是无边无际、无始无终的。从科学的观点来看，宇宙有起源、有发展、有变化。所谓“科学的宇宙”，指的就是“观测的宇宙”，即现在能够观测到的天体现象总和，实质上就是总星系。对科学宇宙边界的确定与人类的认识水平有关，并取决于探索宇宙的手段和工具。目前人类所认识的宇宙，是充满物质和能量，我们把宇宙所有物质（包括可见与不可见的）统称为天体，如星系、星团、星云、恒星、行星、卫星、彗星、流星体、射线、星系核、黑洞等；尽管不同的天体在质量、大小、形态特征等方面差别很大，但宇宙中的天体并不是杂乱无章的布局，而是相互联系，并构成级别、大小、规模不同的天体系统，如地月系、太阳系、银河系、河外星系、星系团、总星系等。

从天体角度来说，地球只是宇宙中一个很普通的天体。茫茫宇宙，地球是渺小的，但对人类而言，它又是重要的、不可替代的天体。地球是人类的家园，是人类观测宇宙的基地。若从这个意义上说，地球是“地”，而不属于“天”；地学研究的对象是“地”，天文学研究的对象是所有天体，而地球是其中的一个特殊的天体。“地球概论”研究的是行星地球。所以，“《地球概论》”可以看成是地学与天文学的交叉学科之一，也是地学专业必修的基础课程之一。“地球概论”为地学其他分支学科提供地球的整体知识，而天文基础知识为“地球概论”课程重点、难点的探讨和深入学习提供基础。

本书由福建师范大学地理科学学院的余明教授主编，参与编写的还有首都师范大学资源环境与旅游学院的刘洪利副教授、华中师范大学城市与环境科学学院的王宏志副教授、陕西师范大学旅游与环境学院的陈林副教授、广州大学地理科学学院的谢献春副教授、唐山师范学院资源管理系的沈方副教授、福建师范大学地理科学学院的张林海老师。本书共6章及1个附录，具体编写分工如下：第1章，余明、刘洪利；第2章，王宏志、余明；第3章，余明、陈林；第4章，余明；第5章，余明、张林海；第6章，沈方、余明；附录，张林海、谢献春、余明、谢献春。同时，为方便读者，本书还提供了教学光盘，内容包括课程大纲、课程PPT、课程题库、课程实验、课程参考答案、课程图库等。

本书的编写，得到全国高师“地球概论”教学研讨会同行们的大力支持，尤其感谢华南师范大学刘南威教授、华东师范大学束炯教授、东北师范大学李津教授、陕西师范大学应振华教授、贵州师范大学方明亮教授、河北师范大学夏彦民教授、广西师范学院周继舜教授、南京师范大学朱长春教授、韶关学院旅游与地理学院廖伟迅教授、安徽师范大学邵华木教授、华南师范大学钟巍教授、咸阳师范学院苏英教授等的长期支持和帮助，感谢福建师范大学地理科学学院院长杨玉盛教授以及同仁们的支持和帮助。

本书的出版,还得到福建师范大学精品课程项目、福建师范大学地理科学学院重点学科建设项目的资助,以及科学出版社等单位的大力支持,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

余 明

2010年5月于福建榕城

目 录

前言	
第一版前言	
第 1 章 天体及其研究方法和手段	1
1.1 天体及天体系统	1
1.1.1 天体概念及主要天体	1
1.1.2 天体系统	2
1.2 获取天体信息的方法	2
1.2.1 电磁波	3
1.2.2 宇宙线	4
1.2.3 引力子	4
1.3 观测天体的主要工具和数据处理	4
1.3.1 天球	4
1.3.2 天球坐标	7
1.3.3 星图、星座和星表	14
1.3.4 天文望远镜	16
1.3.5 天文数据的处理方法和天文软件	22
1.3.6 天文圆顶、天象厅和天文台以及虚拟天文台	22
1.4 时间	23
1.4.1 时间计量系统	24
1.4.2 时间的种类与换算	26
1.5 历法	31
1.5.1 编历原则	31
1.5.2 历法的种类	32
1.5.3 历法的评价	37
第 2 章 恒星世界	39
2.1 恒星的基本特性	39
2.1.1 恒星的亮度及星等	39
2.1.2 恒星的距离	40
2.1.3 恒星的温度、颜色和光谱型	40
2.1.4 赫罗图	42
2.1.5 恒星的大小、质量和密度	43
2.1.6 恒星的运动	44
2.1.7 恒星的化学组成及其他	45
2.2 恒星的多样性	45
2.2.1 单星、双星、聚星、星团和星协	46
2.2.2 变星、新星和超新星	48
2.2.3 主序星、巨星、白矮星、中子星、黑洞	50
2.3 恒星的结构、能源和演化	54
2.3.1 恒星的结构	54
2.3.2 恒星的能源	54
2.3.3 恒星的演化	55
2.3.4 恒星的引力收缩阶段	56
2.3.5 恒星的主序序阶段	57
2.3.6 恒星的红巨星阶段	58
2.3.7 恒星的脉动阶段	59
2.3.8 恒星的晚期阶段	60
第 3 章 银河系和河外星系概貌	63
3.1 银河系	63
3.1.1 银河系的结构特征	63
3.1.2 银河系的其他特征	65
3.1.3 银河系对地球宇宙环境的影响	66
3.2 河外星系	67
3.2.1 河外星系的分类	68
3.2.2 河外星系的亮度和光谱	70
3.2.3 河外星系的运动	71
3.2.4 河外星系的运动	72
3.3 活动星系	72
3.3.1 射电星系	72
3.3.2 其他活动星系	74
3.3.3 活动星系核	75
3.4 星云	77

3.4.1 星云密度、质量和成分·····	77	5.3 日地关系·····	143
3.4.2 星云的种类·····	77	5.3.1 太阳活动·····	144
3.5 星系团和总星系·····	78	5.3.2 太阳活动对地球的影响·····	147
3.5.1 双重星系和多重星系·····	78	5.3.3 太阳活动的预报·····	151
3.5.2 星系群和星系团·····	79	第6章 地球运动及所产生的地理意义 ·····	153
3.5.3 总星系·····	80	6.1 地球运动的主要方式·····	153
3.6 星系的起源与演化·····	81	6.2 地球自转及其地理意义·····	153
3.6.1 银河系的起源与演化·····	81	6.2.1 地球自转的证明·····	154
3.6.2 河外星系的起源与演化·····	82	6.2.2 地球自转的规律·····	156
3.7 宇宙的起源·····	84	6.2.3 地球自转的地理意义·····	158
3.7.1 大爆炸宇宙模型·····	84	6.3 地球公转及地理意义·····	162
3.7.2 宇宙简史·····	85	6.3.1 地球公转的证明·····	162
3.7.3 宇宙演化的几个阶段·····	86	6.3.2 地球公转的规律·····	164
第4章 太阳系及近地宇宙环境 ·····	88	6.3.3 地球公转的地理意义·····	165
4.1 太阳系主要天体的特征·····	88	6.4 变化中的地球运动·····	170
4.1.1 太阳系的结构及其运动特征·····	90	6.4.1 自转速率的变化·····	170
4.1.2 太阳系行星的视运动·····	91	6.4.2 极移·····	171
4.2 太阳·····	96	6.4.3 地轴进动·····	172
4.2.1 太阳的基本概况·····	96	6.4.4 极移和岁差的区别·····	175
4.2.2 太阳结构、能源与演化·····	97	第7章 地球的物理特征及演化 ·····	177
4.3 行星、卫星和太阳系小天体·····	99	7.1 地球的现状·····	177
4.3.1 太阳系八大行星·····	100	7.1.1 地球质量、大小和形状·····	177
4.3.2 矮行星·····	107	7.1.2 地球的重力及其特征·····	178
4.3.3 太阳系的卫星·····	108	7.1.3 地球的磁场及辐射带·····	179
4.3.4 太阳系的小天体·····	111	7.1.4 地球结构及其特征·····	180
4.4 近地小天体对地球的影响·····	115	7.1.5 地球上的生命及成因探讨·····	182
4.4.1 近地小行星·····	115	7.1.6 地球的危机及防范·····	183
4.4.2 流星雨、陨星及陨石坑·····	116	7.2 地球的形成与演化·····	184
4.4.3 近地彗星·····	118	7.2.1 太阳系的形成与演化的 主要假说·····	184
第5章 日月地系统 ·····	120	7.2.2 地球的形成和演化·····	189
5.1 日月地系·····	120	7.3 数字地球及其应用·····	196
5.1.1 月球绕转地球运动·····	120	7.3.1 对地观测技术及系统·····	196
5.1.2 月相·····	121	7.3.2 GIS 及其应用·····	197
5.1.3 交食·····	123	7.3.3 数字地球及其应用·····	199
5.2 天文潮汐·····	135	参考文献 ·····	204
5.2.1 潮汐现象·····	135	附录A 课程实验内容与指导 ·····	206
5.2.2 引潮力·····	137	附录B 实验项目汇总 ·····	244
5.2.3 海洋潮汐的规律性·····	140	附录C 常用的数据 ·····	245
5.2.4 潮汐的地理意义·····	143		

第1章 天体及其研究方法和手段

本章导读:

地球在宇宙中,地球是宇宙中的一个天体。那么,如何观测天体?如何获悉天体的信息?如何了解天体的演化?如何从整体上认识地球?……这些问题都是人类所关心的。本章将对天体及研究天体的主要手段进行介绍。

1.1 天体及天体系统

1.1.1 天体概念及主要天体

1. 天体概念

宇宙中所有物质和能量,统称为天体。天文学研究的对象就是天体。常见的有自然天体(如黑洞、星系、恒星、类星体、行星、卫星、彗星、流星体等)和人造天体(如人造卫星、飞行器等)。在地球上,天体都在天上。但实际上,地球也是一个自然天体,不过是个特殊的天体。

2. 主要天体简介

(1) 恒星 是天体中的主体。一般由炽热的气体组成的、自身会发热发光的球状或类球状天体,称为恒星。太阳就是一颗恒星,除了月球和行星外,我们在夜晚所见的众星大多为恒星(关于恒星的特点将在第2章介绍)。由成团的恒星组成的,被各成员星的引力束缚在一起的恒星群称为星团,一般有球状星团和疏散星团两种。

(2) 行星 指绕恒星运行、自身不会发可见光的天体。据现代天文观测获知,行星并不是太阳系独有的。天空中每10颗恒星至少有1颗其周围有行星,甚至可能不止1颗行星。经过近20年的搜索,人类已经在800多颗恒星周围发现了1000多颗行星(候选体星),最多在一颗恒星周围发现了7颗行星。目前人类对太阳系外行星兴趣空前高涨。

(3) 卫星 指绕行星运行、自身不会发可见光、以其表面反射恒星光而发亮的天体,如太阳系内的月球就是地球的卫星。据资料,截至2015年发现的太阳系自然卫星数多达150颗以上。

(4) 彗星 主要由冰物质组成,以圆锥曲线(包括椭圆、抛物线和双曲线)轨道绕恒星运行。当靠近恒星时,因冰物质受热融化、蒸发或升华,并在恒星粒子流的作用下(如太阳风)拖出尾巴的天体。至今人们仅观察到太阳系内的彗星。

(5) 流星体 是绕恒星运行的质量较小的天体,其轨道千差万别。在太阳系中有些流星体是成群的,称为流星群。当流星体或流星群进入地球大气层时,由于速度很快,进入地球大气层因摩擦生热而燃烧发光,形成明亮的光迹,称为流星现象。大流星体未燃尽而降落在地面,称为陨星。有些陨星中含有许多种矿物元素,尤其近年来还发现在一些陨星中存在有机物。

(6)星云和星系 星云是指银河系空间气体和微粒组成的星际云,一般它们体积和质量较大,但密度较小;形状不一,亮暗不等。在星云性质未被了解之前,曾把星云分为河内星云和河外星云两种。据现代观测手段,人类已区分出河内星云的实质就是银河系内的一些星际物质;河外星云就是现在指的“河外星系”,简称“星系”。梅西叶天体(Messier object, 简称为M天体)是特指的110个星系和星云。深空天体(deep sky object, DSO)指的是天空上除太阳系天体(如行星、彗星或小行星)或恒星天体外,用肉眼难以见到,但用探测器可获悉的弱暗星系等天体(如M31、M104等)。

(7)星际物质 恒星之间的物质(除包括星际气体、星际尘埃和各种各样的星际云外,还包括星际磁场和宇宙线),统称“星际物质”。在现代天体物理研究中,星际物质越来越受到人们重视。

(8)人造天体 在1957年人造卫星上天以后才有的天体,包括现有人造卫星、宇航器(宇宙飞船)和空间站等。虽然有的人造天体已瓦解,失去设计时的功能,但每一块小碎片(宇宙垃圾)仍然是人造天体(有人称之为“铱星”)。据估计,现运行在宇宙空间的人造天体已有上万个,为避免碰撞,目前一些国家已开展对它们进行监测。

(9)可视天体和不可视天体(暗物质) 在宇宙中存在大量的物质和能量,人类把肉眼看得见的(在可见光波段)称为“可视天体”,看不见的称为“不可视天体”或“暗物质和暗能量”。据现代天文研究表明,宇宙中存在大量暗物质与暗能量。

1.1.2 天体系统

宇宙中的天体是相互作用的。天体之间的相互关系构成“天体系统”,即互有引力联系的若干天体所组成的集合体。常见的有地月系、太阳系、银河系、河外星系、星系团、总星系。天体系统的大小、级别悬殊。地球在宇宙中的相对位置如图1.1所示。对地球宇宙环境有影响的主要天体和天体系统,本书将在第2~5章专门进行介绍。

1.2 获取天体信息的方法

除用肉眼外,人类主要是通过望远镜等天文仪器观测天体运动、研究天体的特性及演化。获悉天体信息的主要渠道有电磁波、宇宙线、中微子、引力子

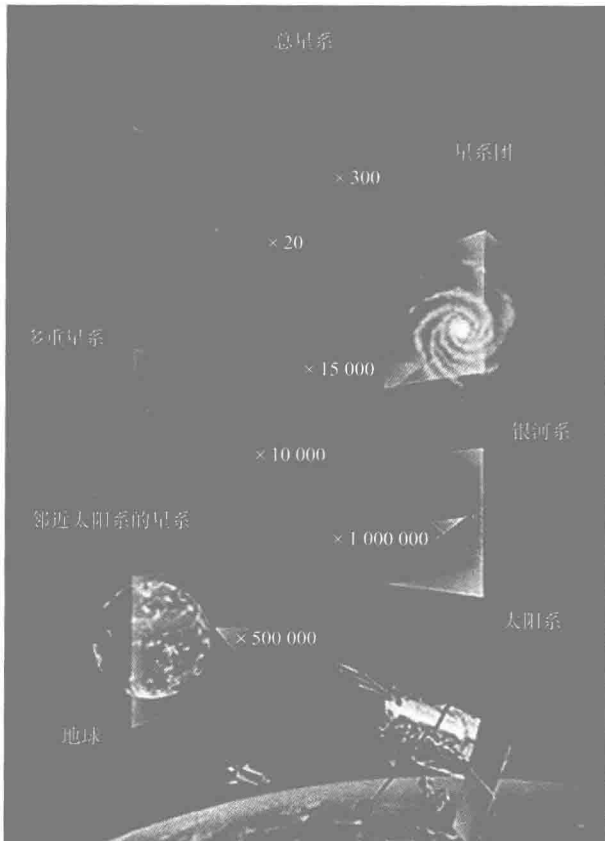


图 1.1 地球在宇宙中的位置

等。通过这些信息,人们可以了解有关天体的物理性质(如恒星的光度、温度、颜色、寿命等)以及天体的演化规律。

1.2.1 电磁波

电磁波 (electromagnetic wave) 是在真空或物质中通过传播电磁场的振动而传输电磁能量的波。它具有波动性和粒子性两种性质。任何目标物都具有发射、反射和吸收电磁波的性质, 目标物与电磁波的相互作用, 构成了目标物的电磁波特性, 它既是现代遥感探测的依据, 也是人类通过电磁波获取宇宙天体信息的主要方法。就波长来说, 我们眼睛所能感觉到的, 只是全部电磁波中很狭窄的一部分, 即所谓的可见光, 其波长范围为 $0.4\sim 0.8\mu\text{m}$ ($1\mu\text{m}=10^{-4}\text{cm}$); 若用 \AA (埃) 表示, 则为 $4000\sim 8000\text{\AA}$ ($1\text{\AA}=10^{-8}\text{cm}$)。其他不可见光的电磁波有: 紫外线 $100\sim 4000\text{\AA}$, X 射线 $0.01\sim 100\text{\AA}$, γ 射线 $<0.01\text{\AA}$, 红外线 $7000\text{\AA}\sim 1\text{mm}$, 无线电短波 $1\text{mm}\sim 30\text{m}$, 无线电长波 $>30\text{m}$ 。如图 1.2 所示。

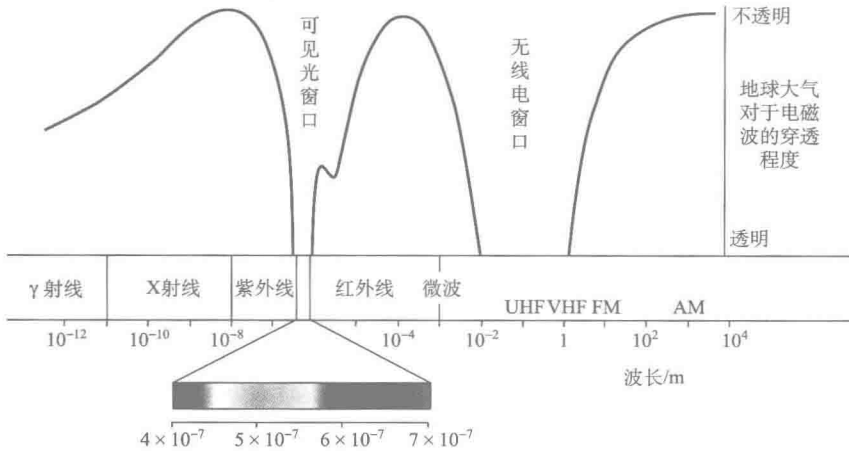


图 1.2 电磁波光谱图

由于地球大气对天体辐射的吸收、反射和散射等作用, 天体只有某些波段的辐射能到达地面, 人们把这些波段形象地称为“大气窗口”。大气窗口就是指大气对电磁辐射吸收和散射很小的波段, 这些波段对地面观测获取天体信息非常有利。主要有以下几个大气窗口: ①光学窗口, 能透过可见光; ②红外窗口, 红外辐射主要由水分子所吸收, 只有很少部分能在地面观测; ③射电窗口, 在射电波段有一个较宽的窗口。若人类要观测天体的全波段辐射, 就必须摆脱地球大气的屏障, 到高空和大气外层进行观测。在地球大气上界和地面获取太阳能差异情况如图 1.3 所示, 其衰减强度随波长不同而异。

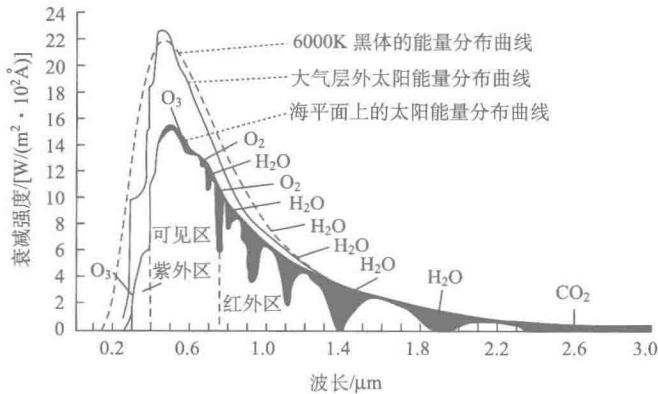


图 1.3 大气上界和地面获取太阳能

1.2.2 宇宙线

宇宙线主要指来自宇宙的各种高能粒子流,主要包括质子、 α 粒子、电子、不稳定的中子和 μ 子等。不过,除中微子外,接收宇宙线必须用各种粒子探测器到大气上界进行。目前,人类在这方面研究虽已取得一定成果,但对太阳系之外的宇宙线还没办法做到系统化的观测。

中微子质量虽极其微小,但穿透本领很强。通过对中微子观测,人类可以获悉恒星内部热核反应的信息,但不易观测。2002年,赛德伯勒中微子天文台成功地观测到来自太阳中微子,这对研究太阳内部意义重大,也解决了困惑人类多年的“太阳中微子之谜”。

1.2.3 引力子

在引力场中,由引力波传播的载体,称为“引力子”。人类通过对它们的研究,可以间接得到天体的信息。令人兴奋的是在2016年年初人类首次直接探测到引力波的存在。引力波的发现让人类认识宇宙增加了一个通道,也为人类探索宇宙的奥秘提供了一种可能。

此外,天外来客(如陨星)、宇航取样等,也是人类了解宇宙天体的渠道。

1.3 观测天体的主要工具和数据处理

天体距离我们地球都非常遥远,肉眼能直接观测到的天体辐射能量是十分有限的。因此,在历史上,天文学家就一直致力于观测手段的改进和观测仪器的研制。可以说,从伽利略望远镜到哈勃太空望远镜,每一次观测手段的改进和新观测仪器的研制,都推动了天文学的发展。望远镜是人眼的延伸,从光学到射电波段,再到其他多波段观测;从地面到航空航天观测,天文仪器不断更新,天文望远镜的功能也日趋完善,人类获取的天体信息也越来越多。为更好地了解地球的宇宙环境,本节将简要介绍天球和天球坐标、星图和星表、天文望远镜等以及天文数据处理方法。

1.3.1 天 球

1. 天球的概念

引力使运动宇宙中的天体能保持相对的平衡。抬头仰望天空时,从视觉上很难辨别出天体距离的远近,似乎是等距的,它们同观测者的关系,犹如球面上的点与球心的关系。这样太阳、月亮和恒星看起来似乎都分布在一个很大的球面上,地球上的人无论走到什么地方,都有这种感觉。天空的昼夜变化表明,天球不但存在于地平之上,而且还有一半隐入地平之下。

在天文上,对天球是这样定义的:以观测者为中心、以任意长为半径的一个假想的球体(图 1.4)。它可作为研究天体视位置和视运动的辅助工具。如太阳每日的东升西落、月球在天空中的圆缺变化、日月食现象的出现等都可借助天球来表示。

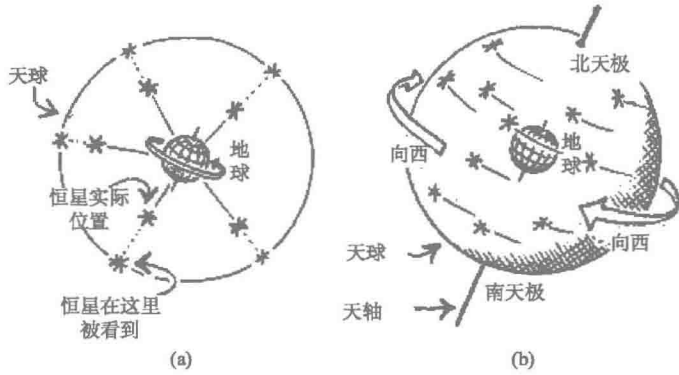


图 1.4 天球示意图

2. 天球的类型

由于研究任务不同,天球中心可以选择为观测者、地心或日心等,相应地就有观测者天球、地心天球和日心天球等。地心天球,是地球上的观察者所构想的天球,它以地心为天球中心,但地球上的观察者只能在地面上观察,地心与地面的差距就是地球半径,在较大尺度的宇宙空间里,地球半径或直径的距离是可以忽略不计的,这就是天球的半径定义为任意的原因。所以,地心天球与以地面上的观察者为天球中心的天球可以被看做是一致的,仅在必要的时候才作某些修正。地心天球主要用以表示太阳系以外的天体视位置和视运动。日心天球,以日心为天球中心,即假设观察者处于日心位置,这种天球主要用于表示太阳系内天体的视位置和视运动。

3. 天球上的基本圈和基本点

在天球上定义一些假想的点和大圆(基本线和基本圈),以便确定天体在天球上的视位置,或研究天体的视运动。因此,利用天球可以把各个天体方向间的相互关系的研究,分为球面上点与点或点与线或线与线之间相关位置的研究。根据同一球面上最大的圆,其圆心在球心的称为“大圆”,其他的圆则称为“小圆”。为此,我们先了解天球上的一些基本点和基本圆或圈。

(1) 天顶和天底 沿观测者头顶所指的方向作铅直线上无限延伸,与天球相交的一点称为天顶(Z);天球上距天顶 180° 的点,即铅垂线在观测者脚底向地平以下无限延伸,与天球相交的另一端点称为天底(Z'),观测者的眼睛则为天球的中心,如图 1.5 所示。

(2) 地平圈 通过地心,并垂直于观察者所在地点的垂线的平面与天球相割而成的圆为地平圈,或表述为通过天球中心而垂直于天顶和天底连线的平面称为地平面,地平面与天球相交而成的大圆,称为“地平圈”,如图 1.5 中的 $NWSE$ 。地平圈把天球分成可见和不可见的两个半球。天体每日视运动运行到距地平圈以上最高点称为“上中天”,运行到距地平圈最低点称为“下中天”。

(3) 北天极和南天极 天轴是地轴的无限延伸。天轴与天球相交的点就是“天极”。天极有两个:北向的称“北天极(P)”;南向的称为“南天极(P')”(有人称“天北极”和“天

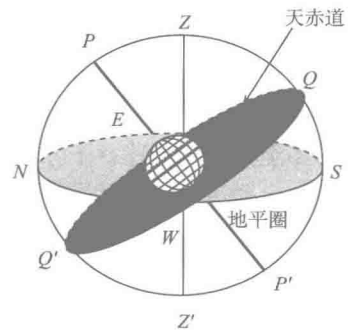


图 1.5 天顶和天底、天极、天赤道、地平圈、四正点

南极”)。离北天极约 1° 处有一颗不太亮的星, 即小熊座 α , 中名“勾陈一”, 即北极星。南天极及其近旁没有亮星, 故没有南极星, 所谓“南极老人星”, 其实离南天极还很远, 离天赤道反而近, 只因我国地处北半球, 北方根本看不到这颗星, 南方看那颗星在南边天际。所以才有“南极老人星”(即船底座 α) 的说法。

(4) 天赤道 与北天极和南天极距离相等, 且垂直于天轴的大圆, 称为“天赤道”, 即地球赤道平面无限扩大与天球相割而成的大圆。它把天球分成南、北两个半球。

(5) 四方点 (或四正点) 通过天顶和天底、北天极和南天极的大圆与地平圈相交的两点中, 靠近南天极的那一点称为南点 (S), 靠近北天极的另一一点称为北点 (N)。自北点顺时针旋转 90° 的那一点为东点 (E), 与东点相距 180° 的点称为西点 (W)。或表述为在某地看来地平圈与天赤道相交的两点就是东点 (E) 和西点 (W), 它们在正东方向和正西方向。地平圈上与它们相距 90° 的两个点就是南点 (S) 和北点 (N), 分别在正南方向和正北方向。 S 、 N 、 E 、 W 合称为“四方点”或“四正点”(图 1.5)。

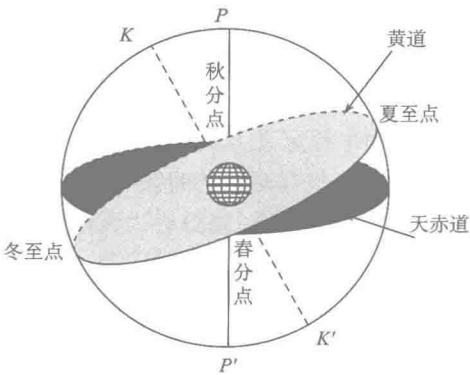


图 1.6 黄道、天极二分二至点

(6) 黄道和黄极 通过天球中心作一与地球公转轨道面的无限平面, 这一平面叫黄道面。黄道面与天球相交的大圆, 称为黄道, 即地球绕日公转轨道平面任意扩展, 与天球相割而成的大圆。通过天球中心作一垂直于黄道面的直线, 使该线与天球相交于两点, 其中靠近北天极 P 的那一点为北黄极 (K), 靠近南天极 P' 的另一一点则为南黄极 (K'), 如图 1.6 所示。

(7) 二分二至点 黄道平面与天赤道平面存在 $23^{\circ}26'$ 的交角 (长时间有一定的变幅), 称黄赤交角。由于黄赤交角的存在, 黄道与天赤道有两个交点, 即春分点 (γ) 和秋分点 (Ω)。在北半球看起来, 春分点是升交点, 即太阳在黄道上运行过春分点后便升到天赤道平面以北之上, 太阳光直射在北半球; 秋分点是降交点, 即太阳过秋分点后便降到天赤道平面以南之下, 太阳光直射在南半球。夏至点是黄道上距天赤道的最北点, 冬至点是黄道上距天赤道的最南点。目前, 太阳大致在每年的 3 月 21 日、6 月 21 日、9 月 23 日、12 月 22 日的某一时刻运行至春分点、夏至点、秋分点和冬至点, 其上述日子分别称春分日、夏至日、秋分日和冬至日, 习惯上就简称为“二分二至日”。通过二至点的黄经圈, 即二至圈; 通过二分点的黄经圈尚无定名, 暂称“无名圈”。黄道、无名圈和二至圈, 是相互垂直且等分的三个大圆。

(8) 子午圈、卯酉圈和六时圈 通过天顶和北天极, 同时又过北点和南点的大圆 $PZSP'Z'N$, 称为“子午圈”。通过天顶和天底, 同时又过东、西点的大圆 $ZEZ'W$, 称为“卯酉圈”。通过北天极和南天极, 同时又过东、西点的大圆 $PEP'W$, 称为“六时圈”。如图 1.7 所示。

若定义地平圈、天赤道、黄道为基本圈 (简称“基圈”), 那么子午圈、卯酉圈和六时圈为“辅圈”。

(9) 极点、交点和距点 在天球上, 定义距大圆 90° 的点称为极点 (如上述天顶和天底、北天极和南天极)。大圆与大圆相交的点称为交点 (如东点和西点、春分点和秋分点等), 两大圆之间的距离称为距点, 其中距离最大处的点为大距点 (如上点 Q 和下点 Q' 、夏至点和冬至点等), 如图 1.5 和 1.6 所示。

(10) 黄赤交角和黄白交角 黄道面与天赤道面之间存在的交角, 简称“黄赤交角”, 一般为 $23^\circ 26'$ 。黄道面与白道面 (月球公转的轨道投影到天球上, 称为白道, 所构成的面为白道面) 之间存在的交角, 简称“黄白交角”, 一般为 $4^\circ 57' \sim 5^\circ 19'$, 平均为 $5^\circ 09'$ (详见第 5 章)。

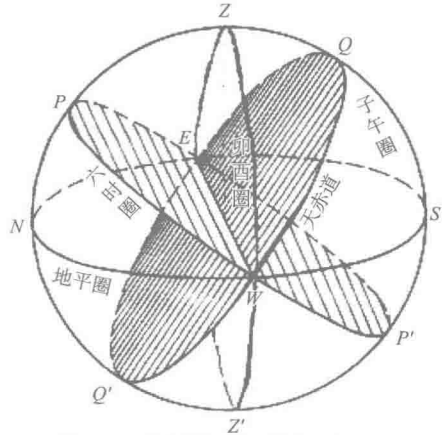


图 1.7 子午圈、六时圈和卯酉圈

1.3.2 天球坐标

天体在天球上的位置, 可用天球坐标表示。天球坐标的确立就是为了天体定位的需要。本节先介绍天球坐标的一般模式, 然后再介绍常见的几种天球坐标。

1. 天球坐标的一般模式

天球上一点的位置, 可用该点距离天球基本点和基本圈的大圆弧, 或大圆弧所对应的圆心角来度量, 这种弧长又称为球面坐标。由天球上的纬度和经度所组成的坐标即天球坐标。天球上一点的位置, 可用任意一种天球坐标系来测定, 由于所选择的基本点和基本圈的不同, 因而得出不同天球坐标系。天球坐标的一般模式是基于球面三角形, 如图 1.8 所示。构成这个三角形的三条边, 分别属于三个大圆, 即基圈、始圈和终圈。三角形的三个顶点是基圈的极点、原点 (始圈与基圈的交点) 和介点 (终圈与基圈的交点)。三边中的基圈和始圈, 分别是坐标系的横轴和纵轴, 终圈则是可变动的, 体现这种变动的是点的经度和纬度。通过这两种变动, 球面上任何一点的位置, 都可以用一定的经度和纬度来确定。前者是点的横坐标, 后者是点的纵坐标。

2. 常见的几种天球坐标

常见的天球坐标有地平坐标、第一赤道坐标、第二赤道坐标和黄道坐标。

1) 地平坐标系

在地平坐标系里 (图 1.9): 它的基圈是地平圈, 原点是南点。它的纬线是地平圈和天球上与地平圈平行的圆, 称为“地平纬圈”。地平圈就是最大纬线圈。它的经线是天球上通过天顶和天底, 且垂直于地平圈的圆, 称为“地平经圈”。其中通过南点和北点的地平经圈称“子午圈”, 以天顶和天底为界分为子圈和午圈。通过东点和西点的地平经圈称“卯酉圈”, 以天顶和天底为界分为卯圈和酉圈。

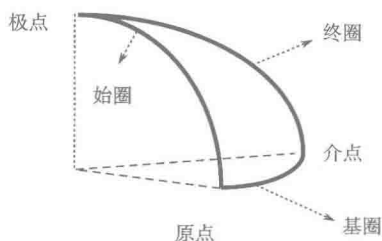


图 1.8 球面三角形示意图

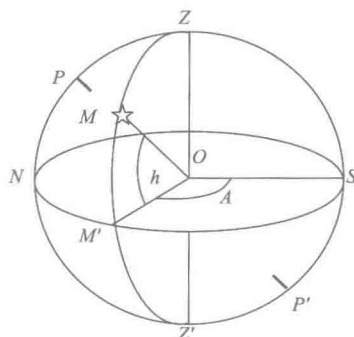


图 1.9 地平坐标系示意图

该坐标的纬度称高度 (h)，即天体 (M) 与地平圈的角距离，就是天体光线与地平面的交角，也就是天体的仰角。它用角度表示，以地平圈为起点，沿天体所在的地平经圈向上或向下度量。 0° 至 $\pm 90^\circ$ 。上为正，即天体在地平面之上，是可见的；下为负，即天体在地平面之下，不可见。高度的余角称天顶距 (Z)。

该坐标的经度称方位 (A)，它是天体对于子午圈的角距离，即天体所在地平经圈与子午圈的交角（实质是两个经圈所在平面的夹角）。它用角度来表示：在天文学里，以南点为原点（起点），在地平圈上向西度量（因天体周日运动方向为自东向西），自 0° 到 360° ，南、西、北、东四点方位分别为 0° 、 90° 、 180° 、 270° ；在测量学里，以北点为原点（起点），在地平圈上向西度量，北、东、南、西四点的方位分别为 0° 、 90° 、 180° 、 270° 。在图 1.9 中，方位为 $\angle SOM'$ (M' 是 M 在地平圈上的投影)。

由高度和方位组成的地平坐标系，能直观地表示观察者所见天体在天球上的位置。它常用于表示太阳在天球上的位置，使用最多的是太阳高度。日出和日落时的太阳高度就是 0° ，一天中太阳高度的最大值出现在正午，某地正午太阳高度有明显的季节变化，最大值出现在夏至日，最小值出现在冬至日。太阳高度为负值时说明在黑夜，极夜时太阳高度就是负值（太阳高度变化规律详见第 6 章）。天文观测流星、彗星、人造卫星等天体一般也采用地平坐标。

2) 第一赤道坐标系（时角坐标系）

在第一赤道坐标系中（图 1.10）：它的基圈是天赤道，原点是上点 Q 。它的纬线是天赤道和天球上与天赤道平行的圆，称赤纬圈，天赤道是最大的赤纬圈。它的经线是天球上通过北天极和南天极的圆，在此为“时圈”。其中通过天赤道上的上点和下点的时圈称为子午圈（它亦通过地平圈上的南点和北点），以两个天极为界分为子圈和午圈。通过天赤道上的东点和西点（此两点亦在地平圈上，因为它们是地平圈与天赤道的交点）的时圈称为“六时圈”，以两个天极为界，分为东六时圈和西六时圈。

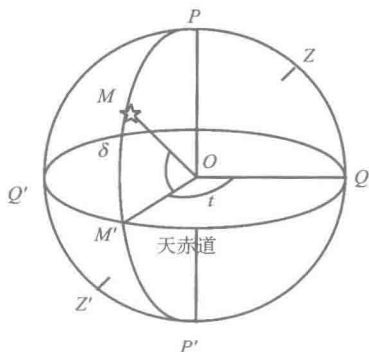


图 1.10 第一赤道坐标系示意

该坐标的纬度称为赤纬 (δ)，是天体相对于天赤道的角距离，即天体视方向与天赤道平面的交角。它用角度表示，以天赤道为起始，在天体所在的时圈上度量，南北各自 0° 到 $\pm 90^\circ$ ，一般按习惯，北为正 (+)，南为负 (-)。赤纬的余角 ($90^\circ - \delta$) 称“极距”。

该坐标的经度称时角 (t)，是天体相对于子午圈的角距离，即天体所在时圈与子午圈的交角，实质是两圈所在平面的夹角。以上点 Q (午圈与天赤道的交点) 为原点，沿天赤道向西度量 (因天体周日运动方向自东向西)，但它不用角度表示，而直接用时间单位时、分、秒表示，可记为 h 、 m 、 s ，如 $6^h 8^m 12^s$ 。因天体周日运动是地球自转的反映，地球自转的速度是 1 小时 15° ，1 分钟 $15'$ ，1 秒钟 $15''$ ，时角与角度可按此经值换算。上点、西点、下点和东点的时角则分别为 0^h 、 6^h 、 12^h 、 18^h 。

由赤纬和时角组成的第一赤道坐标系，主要用于测量时间，该坐标也称“时角坐标系”。在天文学中，把春分点 (γ) 的时角规定为“恒星时”，意思是，春分点在上中天时，恒星时为 0 时 (0^h)，之后，随着地球的自转，春分点在天球上不断西移，时角不断增大，意味着时间在不停流逝。恒星时一般用于天文观测。

当太阳位于上中天时，太阳时角为 $0h$ ，太阳时间却为 $12h$ ，故太阳时与太阳时角有 $12h$ 的差值，即太阳时 = 太阳时角 $\pm 12h$ 。太阳时常用于人们日常生活计时。

3) 第二赤道坐标系

由赤纬 (δ) 和赤经 (α) 组成的第二赤道坐标系，如图 1.11 所示。

地平坐标系和第一赤道坐标系都有明显的地方性和周日变化，即在同一时刻的不同的地点观测同一个天体，所得的这个天体在天球上的纬度和经度是不同的；在同一地点的不同时刻观测同一个天体，所得的这个天体在天球上的纬度和经度也是不同的。所以，这两个坐标系不宜用于表示天体在天球上的固定位置。在编制星表时，需要注明天体 (如恒星、星系、星团等) 在天球上的位置，这就必须建立第二赤道坐标系，在这一坐标系中：它的基圈是天赤道。它的原点是春分点，即黄道与天赤道相交的升交点。始圈是春分圈，即通过春分点的时圈。它的纬度是赤纬 (δ)，与第一赤道坐标系中定义的赤纬一样。但它的经度是天体相对于春分圈的角距离，称赤经 (α)，亦用时间单位表示，以春分点为原点，沿天赤道向东度量，自 0^h 至 24^h 。由此可见，在某一时刻，上中天恒星的赤经就是当时的恒星时，因为上中天恒星的赤经是子午圈上的恒星与春分圈的角距离，而当时的恒星时是春分圈上的春分点与子午圈的角距离，两者是同一个角距离。

由上亦可知，第二赤道坐标系是表示天体在纬向上与天赤道的距离，在经向上与春分圈的距离。在较短时期内，天赤道与春分圈的空间位置是变化很小的，所以，用这种赤经和赤纬注明的天体位置所编制的星表在较短时期内总是适用的。不过，由于地轴的进动，天赤道的空间位置是摆动的，春分点 (γ) 在黄道上每年西退 $50''.29$ ，西退周期为 25800 年，所以，在较长时间内，天体的赤经和赤纬也会有明显的变化。因此，为方便使用者，星表都要注明编制的年份。

4) 黄道坐标系

由黄纬 (β) 和黄经 (λ) 组成的黄道坐标系 (图 1.12) 常用于表示日、月和行星的空间位置和运动的天球坐标系。

在黄道坐标系中：它的基圈是黄道，原点是春分点。它的纬线是黄道和天球上与黄道平行的圆，称黄纬圈。黄道是最大的黄纬圈。它的经线是天球上通过两个黄极的圆，称为黄经圈，其中通过春分点的黄经圈是始圈。