

目 录

绪论	1
一、行星地球概论的性质和任务	1
二、行星地球概论的内容与体系	1
三、学习行星地球概论的目的和意义	2
四、学习行星地球概论应注意的问题	4
第一章 宇宙中的地球	5
第一节 太阳和太阳系	6
一、太阳系的组成及范围	6
二、太阳	7
三、行星	17
四、太阳系的其他天体	23
五、太阳系天体的运动及其规律	25
复习思考与练习	28
第二节 恒星和恒星系	29
一、恒星	29
二、星云和星际物质	38
三、银河系	39
四、河外星系与总星系	41
五、宇宙	42
复习思考与练习	45
第三节 天体的起源和演化	45
一、太阳系的起源	45
二、恒星的起源与演化	47
三、地球的早期演变和生命起源	49
复习思考与练习	52
第四节 空间探测和空间开发	53
一、空间飞行的基本原理	53
二、空间飞行器	55
三、空间开发	57
四、我国空间技术概况	58
复习思考与练习	59

第二章 地理坐标系与天球坐标系.....	60
第一节 天球和天穹.....	60
一、天球与天穹的概念.....	60
二、天球的视运动.....	61
复习思考与练习.....	62
第二节 球面三角的基本知识.....	62
一、圆弧和角的量度.....	62
二、球面三角的基本概念.....	63
三、球面三角形的基本公式（定理）.....	65
四、球面坐标系的一般模式.....	66
复习思考与练习.....	67
第三节 地理坐标系.....	67
一、地球上的基本点和圈.....	67
二、地球上的方向.....	69
三、地理坐标系.....	70
四、地理坐标系的应用.....	72
五、数字地球.....	74
复习思考与练习.....	82
第四节 天球坐标系.....	83
一、天球上的基本点和圈.....	83
二、天球上的方向与距离.....	86
三、天球坐标系（celestial system of coordinates）.....	86
四、天文三角形.....	93
复习思考与练习.....	95
第三章 地球的自转运动.....	97
第一节 地球自转的基本特性.....	97
一、地球自转的周期.....	97
二、真太阳日和平太阳日.....	98
三、地球自转的速度.....	101
四、极移与进动.....	102
复习思考与练习.....	106
第二节 地球自转的证据.....	107
一、傅科摆的偏转.....	108
二、落体偏东.....	111
复习思考与练习.....	112

第三节 地球自转的后果.....	112
一、地球上方向和地理坐标的确定.....	112
二、不同纬度天体的周日运动.....	113
三、水平运动的偏向.....	115
复习思考与练习.....	117
第四章 地球的公转运动.....	119
第一节 地球公转的基本特性.....	119
一、地球公转的轨道.....	119
二、地球轨道面与黄赤交角.....	120
三、地球公转的方向和周期.....	121
四、地球公转的速度.....	123
复习思考与练习.....	124
第二节 地球公转的证据.....	125
一、恒星的周年视差位移.....	125
二、恒星的周年光行差位移.....	127
三、多普勒效应.....	129
复习思考与练习.....	130
第三节 地球公转的后果.....	130
一、太阳周年视运动.....	130
二、行星视运动.....	135
复习思考与练习.....	142
第五章 地球运动的地理意义.....	143
第一节 四季与五带.....	143
一、太阳回归运动.....	143
二、昼夜长短.....	146
三、太阳高度.....	155
四、地球上的四季.....	158
五、地球上的五带.....	164
复习思考与练习.....	166
第二节 时间.....	168
一、时间概述.....	168
二、以地球自转为基础的计时系统.....	170
三、地方时.....	175
四、标准时.....	175
五、全球通用时.....	184

复习思考与练习.....	186
第三节 历法.....	188
一、历法概述.....	188
二、太阴历.....	190
三、太阳历.....	191
四、阴阳历.....	197
复习思考与练习.....	202
第六章 月球、地球和太阳绕转的地理意义.....	205
第一节 月球和地月系.....	205
一、月球 (Moon)	205
二、地月系.....	208
复习思考与练习.....	211
第二节 月相.....	211
一、日月会合运动.....	211
二、朔望月.....	212
三、月相变化.....	213
复习思考与练习.....	215
第三节 日食和月食.....	216
一、日月食现象.....	216
二、日月食的规律性.....	221
三、观测日月食的意义.....	225
复习思考与练习.....	226
第四节 天文潮汐.....	226
一、潮汐现象.....	227
二、潮汐的动力—引潮力.....	227
三、潮汐的类型.....	230
四、海洋潮汐的规律性.....	231
五、潮汐现象的普遍性.....	233
六、潮汐的利用和意义.....	234
复习思考与练习.....	235
第七章 地球的总体特性.....	237
第一节 地球的形状与大小.....	237
一、地球是一个球体.....	238
二、地球是一个扁球体.....	238
三、地球是一个不规则的扁球体.....	240

复习思考与练习.....	242
第二节 地球的结构.....	242
一、地球的外部结构.....	242
二、地球的内部结构.....	243
三、地球的表面特征.....	244
复习思考与练习.....	247
第三节 地球的理化性质.....	248
一、地球的质量和密度.....	248
二、地球的重力与压力.....	249
三、地球内部的温度与热源.....	252
四、地球的磁性.....	252
五、地球的化学成分.....	254
复习思考与练习.....	255
第四节 地球与人类.....	255
一、地球是人类的发源地.....	256
二、环境问题.....	256
三、人地协调共生.....	256
复习思考与练习.....	257
实习一 天球仪的构造与应用.....	258
实习二 转动星图的构造与应用.....	263
实习三 星空观测.....	266
实习四 太阳黑子观测.....	274
实习五 行星和月面特征观测.....	276
实习六 日食和月食观测.....	279
实习七 简易测定经度和纬度.....	281
附录	283
一、天文望远镜的基本知识.....	283
二、天文数据.....	287
三、希腊字母表.....	289
四、星座表.....	290
五、夜空亮星排行榜.....	294
六、各纬度上的最长昼和最短昼.....	294
七、极区各纬度的极昼期和极夜期.....	295
八、干支表.....	295
九、九大行星的主要物理参数.....	295
十、九大行星公转的轨道要素.....	296

十一、九大行星的自转数据.....	296
十二、经线与纬线的弧长.....	296
十三、我国主要城市的经纬度.....	297
十四、日食月食观测资料.....	298
十五、地球的圈层结构.....	300
十六、地球陆面和洋面的基本单元及其面积.....	301
参考书目	302
后记	303

绪 论

一、行星地球概论的性质和任务

地球表层是人类赖以生存的地理环境，从历史上看，人类的活动范围经历了从陆地到海洋，从海洋到大气层，再从大气层到外层空间的逐步扩展过程。如果说陆地是人类的第一环境，海洋是人类的第二环境，大气层是人类的第三环境，那么，外层空间就是人类的第四环境。从这个第四环境可到达无穷远的宇宙深空，故又称宇宙空间，简称太空、空间或“外空”，我国还称为“天”。在人类新进入的这一第四环境中，蕴藏着极其丰富的空间资源，仅就近地的外空领域来看，可利用相对地面的高位置资源，微重力环境资源，高真空、高洁净环境资源，超低温资源，太阳能资源，月球及其行星等空间资源。地理学是一门研究地球表层自然要素与人文要素相互关系与作用的科学。地理环境是由多种地理要素构成的多层次的有机整体，影响地理环境的因素主要有内部因素和外部因素两大方面：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。内部因素和外部因素综合作用，才形成了地理环境，并决定着它的发展和演化。因而地理科学的研究内容十分广泛，所以它派生出许多分支学科，本学科是其中之一，它们从不同的方面进行研究，共同完成对地理环境的认识任务。

作为一个整体，地球是什么？很简单，它是太阳系中一颗既普通又特殊的行星。说它普通，是就质量和大小等而言，地球在太阳系行星中很不显眼；说其特殊，是由于仅有地球才具备生命的形成和发展所必需的自然条件。地球概论，是地球系统科学基本物理框架的重要组成部分，是高等师范院校地理学系的一门专业基础课，其内容涉及到地球的宇宙环境和地球整体知识，是地理科学各专业的先导课程。它的研究对象是地球这一行星之整体，是对全球整体的概括性论述，即关于行星地球的全局性基础知识和基本理论。在本课程以后，地理科学专业还有一系列后续地理课程，而这些课程所阐述的是关于地球的某一圈层或某一方面，如地球的大气圈、生物圈、岩石圈和水圈等。而本课程的任务，就是在学习自然地理综合之前，为所有地理科学专业的一系列课程提供关于地球系统科学的基本知识，特别是提供同太阳辐射能在地球表面上的分布和变化以及与地球运动参数有关的天文知识。从宏观上研究和阐述地球整体的一般特性和基础知识，揭示制约全球自然地理环境形成和变化的外部因素，揭示这些规律同地球环境形成的本质联系。因为地球宇宙环境的一切变化，将深深地影响着地球，甚至给地球有机体带来灭顶之灾！

二、行星地球概论的内容与体系

行星地球概论的论述，不仅包括地球科学方面的内容，而且还涉及大量地理学所必需的天文学方面的内容，其最终目的在于说明地球表层能量的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。如太阳辐射、地球的形状与运动等，在宏观上制约着全球热量的时空分布和变化规律，影响着全球气候的

地带性差异和时间上的变化过程。由此可见，本课程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。具体地讲，它以地球的天文学和地球的物理学为基本框架和主要内容。

（一）地球的天文学

本课程在天文学方面的内容以地球为主，以太阳和恒星为辅。具体地说，它主要包括地球空间位置、运动（自转和公转）及其地理意义（昼夜交替现象、太阳能在地表的时空分布、四季和五带、历法和时间等），以及地球和月球的关系（月相、日月食和天文潮汐）。普通天文学的内容包括恒星和星系，太阳和太阳系，月球和地月系。为了地理定位和表示天体——特别是太阳和月球的视运动，必须建立地理坐标系和天球坐标系。

（二）地球的物理学

首先是地球的形状、大小、结构和理化性质，其次是地球及其圈层在时间上的历史。

目前这两部分内容，以地球的天文学为主，地球的物理学为辅。地球的天文学是本课程的重点。虽然目前其内容以地球的天文学为主，但它不等于天文学，其性质是“地理化”，是为地理学服务的，因为地理学需借助天文学的研究成果来探讨地理环境的形成、发展和区域分异的宇宙因素。因此，本学科被看做是天文学和地理学之间的边缘学科。

本课程除绪论外，共分为7章。第一、三、四、五、六章是与地球运动有关的天文学，第二章是地球和天球的基础知识，最后一章是地球的物理学。第三、四、五、六章是全课程的重点，也是今后学习其他地球科学知识的基础。

三、学习行星地球概论的目的和意义

行星地球概论是地理科学专业教育的重要组成部分。首先它提供有关地球的整体知识和一般规律，如地理坐标系、地球的形状、地球的运动、四季和五带等等，为地理科学专业所有后续专业课程，提供关于地球系统科学的基本知识，特别是提供同太阳辐射能在地球表面上的分布和变化以及与地球运动参数有关的天文知识。近几十年来，地学、天文学取得了迅速的、突破性的进展，与此同时，地学、天文学各学科之间，以及它们与其他学科之间相互交叉、相互渗透的程度和领域不断加深或扩展，很多崭新的内容值得人们去了解。它有助于人们开拓眼界，活跃思维，掌握必要的横向知识。所以本课程不仅是高师地理科学专业必要的专业基础学科，而且还是先行的专业基础学科，给后续专业课程的教学开路，为学习这些课程打下坚实的基础。

其次，有关地球的整体知识和一般规律，如关于天体和宇宙、太阳与月球、昼夜交替现象、四季和五带、历法与时间、月相、日月食和海洋潮汐等知识，在人们正确世界观的形成中，占有相当重要的地位。同时也是每个有文化的公民都应该了解的，它们既是高师地理科学专业的重要内容，也是中等学校地理教育的重要组成部分，关于地球系统科学的基础知识，也是中学地理课程的重要内容和难点所在，这些知识了解的主要渠道是普通教育。而普通地理教育的师资，则主要来源于高师地理科学专业教育，因此本课程也是为中学地理教学服务的。目前我国向中学生普及必要的地学、天文学知识主要由地理科学专业的毕业生来承担，本课程正好为学生提供了较多、较系统的天文学知识，本课程正是这条战线上的重要组成部分之一。因此，将本课程列为高师地理科学专业必修的一门专业基础课，是完全必要的。

第三,有关地球系统科学的基础知识,包括关于天体和宇宙的知识在内,都是人类认识自身生存环境的基本知识,它们都是同辩证唯物主义的宇宙观相联系的。因此,本学科的研究成果可以为哲学研究提供理论依据。通过本课程的学习,使人们了解天体物理的基本知识,对科学普及宣传起着有益的作用,教育公民以崇尚科学为荣,以愚昧无知为耻,逐步树立正确的辩证唯物主义宇宙观,建立科学的世界观和人生观,可以培养公民的探索精神和科学思维方法,树立正确的物质观,启迪人们的创新意识,提高公民的科学素养和综合素质。

此外,通过行星地球概论的教学,还可为实施爱国主义教育服务。本课程中许多知识源于国外,我们在弄清、弄透这些知识的基础上,进一步了解中华民族优秀的科学文化遗产、传统文化和中国现代天文事业的伟大成就,可以诱发做一个中国人的民族自豪感,增强勤奋学习,向科学家学习,勇攀科学高峰的勇气和信心。如沈括的十二气历是中国古代典型的阳历,中国传统历法夏历中19年7闰的方法,在公元前6世纪的春秋时代已经应用,比古希腊人的默冬章早160年。二十四节气是我国劳动人民和科学家在黄河流域的生产实

践中总结创造出来的,它准确地反映了太阳在黄道上的位置,生动地体现了地面寒暑四季的循环规律,是我国劳动人民独有的伟大科技成果;它服务于农民的耕耘、播种和收获,便于安排农业生产,因而二十四节气具有鲜明的节令特点和浓郁的乡土气息,对我国广大农村开展农事活动有广泛的应用价值(节气歌、农事歌);随着我国历法的外传,二十四节气也流传到五洲四海。西汉(距今2100多年)的天文学家和历算学家落下闳(今四川阆中市人,约公元前140~公元前87年)等,将二十四节气纳入中国历法的体系之中,将天文、数学、农学融合为一体,提出了《浑天说》、创制了“浑仪(天文观测仪)、浑象(天文显示仪)”、测出一回归年的长度为365.2502日、一朔望月长为29.5309日、135个月有23

次日食的周期,与今天测出的数据相比误差极小,仅0.008天/年和0.0003天/月;落下闳

等在太初元年(公元前104年)创制成我国历史上第一部资料完整的、有文字记载的科学新历《太初历》(又称“八十一分律历”),他在《太初历》中确定以孟春正月初一为岁首。因此英国著名科学家、英国皇家学会会员(FRS)、英国科学院院士(FBA)、中国科技史大师李约瑟(Joseph Needham, 1900—1995)博士,在他的《中国科学技术史》中称落氏为天文学上“灿烂的星座”。现在国际上通用的88个星座,系古希腊人所创,而三垣四象二十八宿为中国独创,《步天歌》以七言诗的形式记述了每一颗星的位置,且附会了神话传说,反映了先人们对星空的研究深入程度不亚于古希腊人。西方有康德-拉普拉斯星云说、灾变说,中国也有戴文赛的现代星云说。在目前已发现的太阳系小行星中,我国科学家发现的小行星获得国际永久编号和命名权的已有400余颗。我国积极开展有特色的深空探测和研究,将建成多种功能和多种轨道的、由多种卫星系统组成的空间基础设施,建成天地协调配套的卫星地面应用系统,形成完整、连续、长期稳定运行的天地一体化网络系统。已建成西昌、酒泉和太原三大卫星发射基地,从1970年至今已发射了60多颗人造天体。中国在探索外层空间、扩展对宇宙和地球的认识的基础上,为和平利用外层空间,促进人类文明和社会发展,造福全人类作出了积极的贡献。

四、学习行星地球概论应注意的问题

由于行星地球概论所讲述的内容具有空间概念强、所及天体抽象,并且在不同的空间平

面以不同的轨道半径和不同的周期、速度运行的特点，即本课程具有立体、抽象、运动三大特点。因此，在本课程的教与学的过程中，要充分重视科学的空间概念的建立，培养一定的空间思维能力；要突出理论联系实际的原则，在注重理论体系的同时，通过与实际现象和天象相联系，如地球自转运动的后果之一，水平运动的偏转，可结合河流冲蚀现象加以解释、理解；日、月食现象可结合人类对日月食现象的认识加以说明等，培养、提高自己分析问题、解决问题的能力。

科学的空间概念建立和本学科知识体系在头脑中的形成，需要大量的观察实践，而且在许多情况下要依赖于“模拟空间”的帮助和空间想象思维活动的开展。所以，必须尽可能地强化学习过程中的实践性环节和空间想象思维能力的培养，一方面，要充分利用所具有的条件和所遇到的机会，让自己动手，积极开展实际观测，把天地作为最好的实验室，如对天体及其运行的观测、月相变化的观测、日月食和海洋天文潮汐的观测，测定当地的子午线、求当地地方时、地方经度和纬度的试验与实习等等，只有掌握了这些基本技能，才能为今后自己走上工作岗位后，带好中等学校的第二课堂教学与课外活动奠定基础；另一方面，要尽可能地进行室内教具模型演示观察，如天象仪演示、观察天球仪、天球坐标模型、各种天体运行演示以及观看有关内容的幻灯、录像、图片等。此外，加强教材研读和课外参考书的自学，进行灵活多样的练习、专题讨论与研究等，有助于增强专业知识，启发空间想象思维，培养自学能力、钻研精神及运用知识解决实际问题的能力。

总之，通过形式多样的实践性活动，让自己动手实践，才能使那些不可捉摸的事物和现象具体化、形象化和直观化，让自己在实际中体会学习的乐趣，才能对本课程所学的知识理解透彻、记忆深刻、运用灵活，从而达到举一反三，学以致用学习目的。

第一章 宇宙中的地球

茫茫宇宙充满了神奇色彩，点点繁星更让人对它产生幻想。千百年来，多少人呕心沥血地企盼能撩开其神秘面纱，但终因大气层的阻隔和遥不可及的距离而未能如愿。20 世纪的航天技术改变了这一切，人类能够冲破地球大气层的束缚，把科学探测仪器送到月球、其他行星乃至太阳系外。在那里，人类第一次看到了意想不到的奇妙世界。

由物质构成的天体千差万别。有的很大，有的很小；有的很疏，有的很密；有的很热，有的很冷；有的自己发光，有的不会发光……天体（celestial body）就是宇宙中各种星体和星际物质的统称。人们根据不同的物理性状，把天体分为恒星、行星、卫星、彗星、流星、星云和星际物质等，通过射电探测手段和空间探测手段所发现的红外源、紫外源、射电源、X 射线源和 γ 射线源，也都是天体，这些都属于自然天体。宇宙间最重要的天体是恒星，太阳就是恒星的一个典型代表。而天空中飘浮的云、飘游的气球和运行的飞机等不属于天体。宇宙中天体是运动的，并有一定的系统和规律，相互吸引和旋转，该系统叫天体系统。天体系统有不同的层次，比如月球和地球构成地月系，地球是地月系的中心天体，月球围绕地球公转；地球和其他行星围绕太阳公转，它们和太阳构成高一级的天体系统（如图 1-1 所示）。

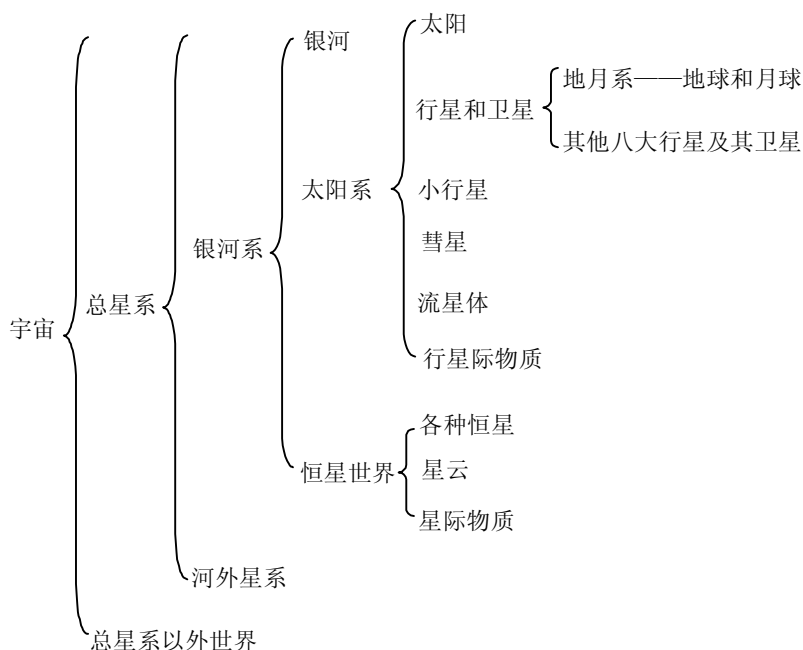


图 1-1 天体系统的层次和关系

宇宙中除自然天体外，还有一些由人工研制并用运载火箭发射到宇宙空间的人造地球卫星、宇宙飞船、人造行星、星际探测器等等，它们沿着一定轨道运动，我们称其为人造天体

或宇宙飞行器，即用运载火箭发射到外层空间运行的人工研制的物体。在地球上看起来，天体都在“天”上。其实，地球也是一个自然天体，在宇航员的眼里，地球也在“天”上，它是一个被大气包围着的蓝色星球。

第一节 太阳和太阳系

一、太阳系的组成及范围

由太阳以及在其引力作用下围绕它运转的天体所构成的天体系统，称为太阳系（solar system）。它包括太阳、已证实的九大行星及其卫星、小行星、彗星、流星体以及行星际物质（如图 1-2 所示），其中行星及其卫星是太阳系中重要的成员。太阳系的基本结构，主要是由九大行星的运动和分布状况决定的。九大行星按其与太阳的距离，由近及远分别是水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。它们当中，肉眼能看到的只有五颗，对这五颗星，我国古代根据五行学说，用金、木、水、火、土这五行来分别把它们命名为金星、木星、水星、火星和土星；而欧洲则用罗马神话人物的名字来称呼它们。近代发现的三颗远日行星，西方按照以神话人物名字命名的传统，以天空之神、海洋之神和冥土之神的名称来称呼它们，在中文里便相应译为天王星、海王星和冥王星。如以冥王星的轨道为太阳系的边界，其直径约为 $1.2 \times 10^{10} \text{km}$ ，是一个较庞大的天体系统。但在银河系里，太阳系只是沧海一粟而已。

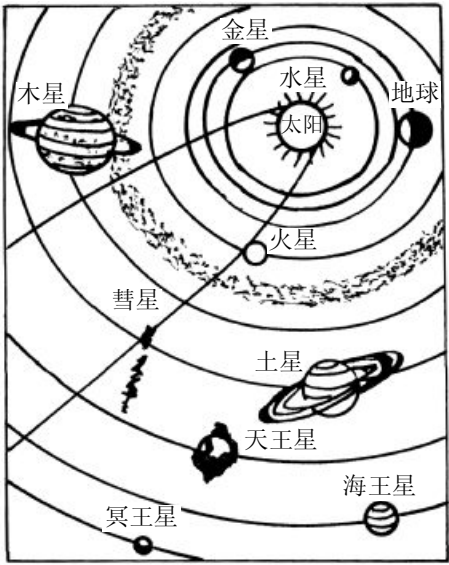


图 1-2 太阳系示意

太阳系中除了水星和金星外，其他的行星都有卫星，到目前为止，已知的行星卫星数目为 100 余颗，其中一半以上是在 1997 年之后才被发现的，在未来无疑会发现更多的卫星。在火星与木星之间存在着数十万颗大小不等，形状各异的小行星，天文学把这个区域称为小行星带，据估计，所有小行星的质量总和，大约只相当地球质量的 0.04% 或月球质量的 3.2%。此外，太阳系还包括许许多多的彗星和难以计数的天外来客——流星体，流星体的数量不胜枚举，但它们的质量微不足道。彗星的质量很小，这种天体在绕太阳运行中呈现奇特的外貌变化，已被发现的彗星约有 1 600 颗。行星际空间并非真空，极稀薄的行星际物质是由气体微粒和固体尘埃组成的。太阳系中的各个天体主要由氢、氦、氖等气体，冰（水、氨、甲烷）以及含有铁、硅、镁等元素的岩石构成。

太阳系是人类目前唯一直接或间接观测到的天体系统。人类所居住的地球是太阳系家族中的普通一员，我们对太阳系的探测研究，具有重大深远的意义。

二、太阳

太阳 (Sun) 是太阳系唯一的恒星,也是太阳系的中心天体,太阳是太阳系的引力中心、运转中心和质量中心 (其质量占太阳系总质量的 99.87%)。同时,作为光热源地,它慷慨无私地奉献出自己的光和热,温暖着太阳系中的每一个成员,带领所有成员,万古不息地绕银河系的中心运动,促使它们不停地发展和演变。在天文学中,太阳的符号“ $\odot$ ”和我们的象形字“日”十分相似,它象征着太阳是“宇宙之卵”。

按天文学标准,在亿万颗恒星中,论其半径、质量、温度和光度等物理参量,太阳只是一颗普通的恒星。但是,由于太阳距离地球最近,所以对于人类和地球上一切生命来说,它又是一颗极其重要的恒星,也是一颗不普通的恒星。在天文学上,太阳的重要性还在于,它是认识宇宙中亿万颗其他恒星的主要媒介,是研究其他恒星的标本。由于日地距离较近,故人类能够直接研究它的表面,太阳的一些活动,都可以在太阳表面观测到。人们利用从太阳得到的知识,来检验关于恒星的一般理论。随着人类对太阳研究的深入,已开始广泛利用太阳能,太阳能发电站、太阳能热水器、太阳能电池等的建造和制造,已造福人类。

(一) 太阳的距离、大小与质量

太阳距离是指太阳与地球的平均距离,准确地讲,是地球公转轨道的半长轴,通常称之为日地距离。它是度量天体 (特别是太阳系天体) 之间距离的“尺子”,天文学上称为天文单位 (Astronomical Unit),是一个长度的单位,常用 A.U.或 a 表示。测定日地距离的方法有多种,如早期的视差测距法和现代的雷达测距法与激光测距法。

所谓视差 (parallax),是观测者在不同位置处看同一目标的方向之差。它实际是天体对于基线所张的角度或基线对于天体的张角。天体愈远,视差愈小;基线愈长,视差愈大。根据基线的不同,视差分周日视差 (diurnal parallax) 和周年视差 (annual parallax)。日地距离或地球轨道半径对于天体的张角,叫周年视差,用 p 表示。而地球半径对于天体的张角,称为周日视差或地心视差,用 p_0 表示。如图 1-3 所示,如果从地球上 A 点看,天体 S 刚好在地平线上 (即 AS 和地球半径 OA 垂直),而同时从地球上 B 点看, S 刚好在天顶处 (即 S 在地球半径 OB 的延长线上),那么 $\angle ASB$ 就叫做天体 S 的地平视差。即天体位于地平时视差最大,用 p_0 表示,有:

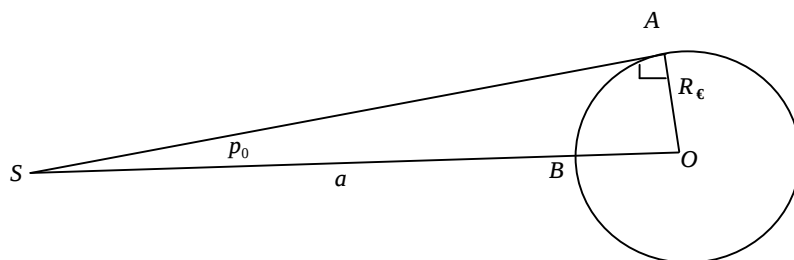


图 1-3 天体的地平视差

$\sin p_0 = R_{\oplus}/a$, 由于 p_0 很小,并且用弧度或角度作单位时 (见第二章第二节),则有:

$$p_0 = R_{\oplus}/a \text{ 或 } p_0'' = 206265 R_{\oplus}/a \quad 1-1$$

在式 1-1 中, p_0 为天体的地平视差,用弧度或角度作单位; $R_{\oplus}$ 是地球半径; a 为天体距

离。根据一个天体的地平视差，可以算出这个天体的距离。

从式 1-1 可知，只要测出太阳的地平视差，就可以得到太阳的距离。事实上，测量太阳视差值是相当困难的，只能用间接方法测出。故通常采用测定运动规律已知的行星（如爱神星即 433 号小行星）的视差去推算太阳视差。如图 1-4 所示，设日地距离为 a ，某个距地球较近的小行星（如爱神星）与太阳的距离为 a_1 。当小行星大冲时，即该小行星最接近地球位置时的冲，测定其地平视差，从而推算出它同地球的距离，即 $(a_1 - a)$ 。

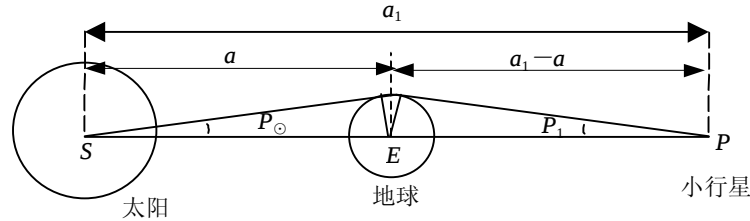


图 1-4 测定日地距离

根据周日视差的定义有：

$$R_{\oplus} = a \sin p_{\odot}, R_{\oplus} = (a_1 - a) \sin p_1, \text{ 消去 } R_{\oplus} \text{ 得}$$

$$p_{\odot} = (a_1/a - 1) p_1 \quad 1-2$$

在式 1-2 中， a_1 是日星距离； a 为日地距离； $p_{\odot}$ 是太阳的地平视差； p_1 为某小行星的地平视差，大冲时可以直接测出。

再按开普勒第三定律，两行星公转周期的平方之比，等于它们同太阳距离的立方之比。设地球和小行星的公转周期分别为 T 和 T_1 ，那么便有

$$\frac{T_1^2}{T^2} = \frac{a_1^3}{a^3} \text{ 或 } \frac{a_1}{a} = \sqrt[3]{\left(\frac{T_1}{T}\right)^2} \quad 1-3$$

式 1-3 即为小行星与地球的轨道半径之比，可以通过两者的周期之比得出。而天体周期的测定，相对说来是比较简单的。联立式 1-2、式 1-3，即可测得 $p_{\odot}$ ，再利用式 1-1 可求得 a 。

近代最著名的一次是利用爱神星在 1931 年大冲时，国际天文学会组织了 14 个国家 24 个天文台（包括当时上海的佘山观测站）进行联测，测得太阳地平视差 $p_0'' = 8''.7984 \pm 0''.004$ ，相应的日地距离为 $a = 1.4953 \times 10^8 \text{ km}$ 。

20 世纪中叶，雷达测距技术的应用，改变了日地距离的测定方法。人们在地面观测站通过巨大的雷达天线向某天体发射无线电讯号，无线电波到达该天体表面，再反射回到地面观测站。根据观测站记录的同一无线电讯号发射时刻 (t_1) 和接收时刻 (t_2)，以及无线电波传播速度——光速 (C)，就可以计算出地球与天体的距离。若以 D 表示地球与天体的距离，则：

$$a_1 - a = D = \frac{(t_1 - t_2)}{2} \times C \quad 1-4$$

联立式 1-3、式 1-4，即可测得 a 。1961 年以来，美国、英国、前苏联等国多次分别对金星、水星和火星进行雷达测距，根据对金星和火星的测距并结合光学观测，求得 $a = 1.495978705 \times 10^8 \pm 1.6 \text{ km}$ 。1976 年国际天文学会确定 A.U. 为 $1.49597870 \times 10^8 \text{ km}$ ，从

1984 年起采用。光通过这一距离需要 8^m19^s ，若是时速 1 400km 的超音速飞机要 12 年、时速 1 000km 的航天飞机需 17 年、时速 5 500km 的火箭要 3 年才飞完这一距离。

激光测距法，它的工作原理与雷达测距法相似，比雷达测距法更精确，但目前只适用于很近的天体，如人造卫星和月球。

知道了日地距离，再从地球上测得太阳视圆面所张的角度平均为 $31'59''.3$ ，称为太阳的视（角）直径。该角度的一半，称为太阳的视半径（ r ），其值为 $15'59''.65$ 。根据太阳的视半径，推算其线半径（如图 1-5 所示）。如日地距离为 a ，太阳半径为 $R_{\odot}$ ，那么便有：

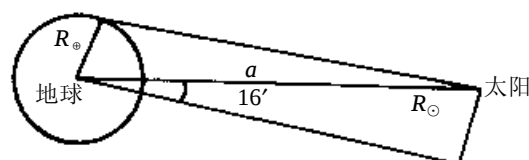


图 1-5 太阳大小的测定

$$R_{\odot} = a \sin r \quad 1-5$$

由式 1-5 得出 $R_{\odot} = 6.960 \times 10^5 \text{ km} \approx 7 \times 10^5 \text{ km}$ ，这个数值相当于地球半径的 109 倍。由此可求得太阳表面积约为地球表面积的 12 000 倍，太阳体积约为地球体积的 130 万倍，约为太阳系所有行星体积总和的 600 倍。

太阳的质量可根据地球的质量，利用行星（如地球）的运动来测定，因为绕转运动是由中心天体的引力造成的，而引力大小同它的质量有关。一个作圆运动的物体，必受一个向心力的作用。按物理学定律，向心力（ f ）的大小，与运动物体的质量（ m ）和速度（ V ）的平方成正比，而与圆的半径（ R ）成反比，即

$$f = \frac{mV^2}{R}$$

对地球绕转太阳而言，这个向心力正是太阳对地球的引力，式中的 m 为地球质量， V 即地球公转速度， R 则为地球的轨道半径。

按牛顿的万有引力定律，引力的大小与两物体的质量乘积成正比，而与两者的距离平方成反比。如以 m 和 M 分别表示地球和太阳的质量， R 为日地距离，那么，太阳与地球间的引力为：

$$F = G \frac{Mm}{R^2}$$

式中的 G 为引力常数。

我们知道，地球轨道的偏心率很小，地球绕太阳公转，可近似地看作圆周运动。换句话说，太阳对地球的引力，正好就是地球绕太阳运动所需的向心力。于是有：

$$\frac{mV^2}{R} = \frac{GMm}{R^2}$$

等式两边消去 m 后，得太阳的质量：

$$M = \frac{RV^2}{G} \quad 1-6$$

由 1-6 式计算得 $M = 1.989 \times 10^{33} \text{ g}$ 或 $1.989 \times 10^{27} \text{ t}$ ，即太阳的质量约为 $2 \times 10^{27} \text{ t}$ ，相当于地球质量（约 $6 \times 10^{24} \text{ t}$ ）的 33 万多倍，或太阳系全部行星质量总和的 745 倍。通过太阳的体积和质量，可推算出太阳的平均密度，其值为 1.41 g/cm^3 ，只相当于地球密度（ 5.52 g/cm^3 ）的 1/4。太阳表面的重力加速度为 274 m/s^2 ，相当于地面重力加速度（ 9.8 m/s^2 ）的 27.9 倍。

(二) 太阳的热能与表面温度

在距太阳一个天文单位的区域内, 不受地球大气的影响, 垂直于太阳光束方向上地表单位面积上和单位时间内, 所能接受到的太阳辐射能量称为太阳常数 (solar constant), 用 I_0 表示, 其值为 $8.16\text{J}/\text{cm}^2\cdot\text{min}$ 。70 多年观测太阳常数的历史表明, 其值变化小于 1%, 有学者认为, 不排除变化大于 1% 的可能性。精确地测定太阳常数, 对于研究太阳和地球大气结构以及气象科学、环境科学等具有重要意义。

1. 太阳的热能

地面上单位面积所得太阳热量既能测定, 那么就可能据此推算太阳辐射的总量。设想有一个以太阳为中心, 以日地平均距离为半径的巨大球面, 它的总面积达 $4\pi\times(1.496\times10^{13})^2=2.83\times10^{27}\text{cm}^2$ 。这个球的内表面的每一点同太阳的距离, 都等于日地平均距离, 并且处处与太阳光垂直, 它把全部太阳辐射如数吸收。这个球面积乘以太阳常数, 便得到太阳辐射总量, 其值为 $3.826\times10^{26}\text{J/s}$ 。这个热量足以使覆盖地表 150km 厚的冰层化成 0°C 的水。

在这个巨大的能量中, 地球得到了多少能量呢? 按类似计算方法, 它等于地球大圆面积上所接受的热量。地球大圆面积为 $\pi\times(6.371\times10^8)^2=1.27\times10^{18}\text{cm}^2$, 乘以太阳常数得 $1.74\times10^{17}\text{J/s}$ 。这个数量仅占太阳辐射总量的 22 亿分之一。对太阳来说, 这是微不足道的; 但对地球来说, 则是举足轻重的。太阳每年给地球的热能, 相当于 1×10^{18} 度电力, 是目前全世界总发电量的几十亿倍, 成为地球上生命活动的基本能源。

2. 太阳表面温度

太阳辐射能量这样巨大, 足以说明其表面温度是很高的, 因为任何物体的表面温度越高, 向外辐射的能量也越多。其推算方法有两种:

一种是按物理学的斯忒藩-玻尔兹曼定律, 即绝对黑体 (能完全吸收投射其上辐射能, 也能发射出全部辐射能的物体) 的辐射强度 (即单位面积发出的功率, 用 E 表示) 与其表面绝对温度 (T_e) 的四次方成正比。其公式为:

$$E = s T_e^4 \quad 1-7$$

在式 1-7 中 $s = 5.75 \times 10^{-12} \text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}^4)$ (玻尔兹曼常数)。太阳表面并不是绝对黑体, 但太阳近似一个绝对黑体, 把这个定律应用于太阳, 代入有关数据得出太阳的温度为 5770K, 即约 5500°C 。用这种方法求得的温度称有效温度。

另一种是按温度与光谱之间的关系推得。黑体发出的辐射随温度而变化: 温度升高, 总辐射量增大; 同时, 辐射能量最高峰的波长变短。即黑体辐射最强时的波长与其表面绝对温度 (T_e) 的乘积为一个常数 (维恩位移定律)。其公式为:

$$\lambda_{\max} \times T_e = b \quad 1-8$$

在式 1-8 中维恩常数 $b = 0.289778 \text{cm} \cdot \text{K}$ 。将测定太阳辐射的峰值波长 $5100\text{\AA}$ 代入公式, 就能求得太阳的温度。用这个方法测定的温度, 称为辐射温度, 其值与有效温度相仿, 在 5700K 左右。

上述温度是根据太阳辐射推算的, 而太阳辐射来自它的光球, 所以, 这个温度只是太阳的表面温度, 即光球温度。太阳的不同部分有不同的温度。在光球以内, 温度随深度而增加。据天体物理学的理论推算, 太阳核心的温度高达 1500 万 $^\circ\text{C}$, 这是整个太阳最高温度的所在。在光球以外, 还有色球和日冕, 那里的温度随高度而增加: 在 2000km 高度上, 色球温度约

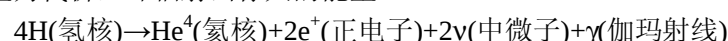
为 10 万℃；而日冕温度可达 100 万℃。

太阳核心的温度高达 1500 万℃，并以每分钟 $3.826 \times 10^{26} \text{J/S}$ 的能量输出，这说明太阳有一个强大的产能系统。如此巨大的能量从何而来？20 世纪以前科学家曾经试用化学反应、陨星降落和重力收缩等来解释。如果是燃烧过程，即使太阳是一个优质煤球，按目前的功率发射能量，估计不到 1500 年就会熄灭。然而，太阳像现在这般发射能量，已有几十亿年之久，这些均无法令人信服地说明太阳能量的来源。直到 20 世纪初，爱因斯坦创立相对论以后，太阳的能源才找到正确的答案。爱因斯坦在狭义相对论中指出，质量和能量是一个事物的两个方面，可以相互转化。其关系公式为：

$$E = mc^2 \quad 1-9$$

在式 1-9 中 E 表示能量，以焦耳 (J) 为单位； m 表示质量，以 kg 为单位； c 表示光速，以 m/s 为单位。按此公式计算，1g 物质可以产生约 $8.373 \times 10^{13} \text{J}$ 的能量。这种物质转化成能量的过程，在一般条件下是不能进行的，只有在原子核反应中才能进行。因为原子核反应需要极高的温度，所以称热核反应。

太阳内部有高达一千几百万度的温度，仿佛是一个巨大的原子能工厂，不断地进行着由氢变氦的核聚变反应，从而释放出巨大的原子能。这是因为，太阳内部的氢原子在这样的温度下，会失去核外电子变成质子，质子在这样的环境里以极大的运动速度，克服静电斥力而产生猛烈碰撞，在碰撞中 4 个质子结合成 1 个原子核，即氦核。在此核聚变反应中，以消耗掉一点点物质质量为代价，却辐射出惊人的能量。



我们知道，1 个氢核质量是 1.007 8 个原子质量单位，而氦核质量为 4.001 5 单位。因此，在一次反应中有 $\Delta m = 4 \times 1.007 \text{ 8} - 4.001 \text{ 5} = 0.029 \text{ 7}$ 单位的质量损耗。据此推算，1g 氢聚变为氦，只造成 0.007 37g 的质量损耗，而产生的能量却为 $6.63 \times 10^{11} \text{J}$ 。它可使 1 500t 水从 0℃

加热到 100℃。这样的过程比化学反应过程释放的能量大 100 倍，这便是太阳能够持久地进行强烈辐射的源泉。因为太阳的质量为 $2 \times 10^{27} \text{t}$ ，按每分钟向外辐射 $3.826 \times 10^{26} \text{J}$ 计算，仅消耗 2 亿多吨的质量，在过去的 50 亿年中，只消耗了它全部质量的 0.03%。所以预计太阳的寿命为 100 亿年。

当然也应看到，对太阳本身来讲，正是这种内部巨大能量等因素产生的内部斥力，在抵抗着由巨大质量产生的自引力。太阳作为炽热的气体球存在于宇宙空间，也正是这两种主要力量相互抗衡的结果。

(四) 太阳的结构

1. 太阳内部结构

太阳表面温度有 5 000 多度，内部更高达上千万度，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。目前的科学技术水平只能观测到太阳表面的一些情况，对其内部状况了解得较少。所以讨论太阳的确切结构问题是困难的。当前人们普遍认为这种炽热的气体，是处于高温、高压下才出现的等离子体状态，并称之为第四态。

太阳是个炽热的等离子气态球体，其分层无明显的界线。为了研究方便，在结构上分为内部稠密气体和外部稀薄气体两大部分。太阳内层无法直接观测，只是一种理论模式。太阳