

# GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校测绘工程系列教材

# 普通天文学

罗佳 汪海洪 编写



WUHAN UNIVERSITY PRESS  
武汉大学出版社

高等学校测绘工程系列教材

# 普通天文学

罗 佳 汪海洪 编写



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

普通天文学/罗佳,汪海洪编写. —武汉:武汉大学出版社,2012. 8  
高等学校测绘工程系列教材  
ISBN 978-7-307-09806-0

I. 普… II. ①罗… ②汪… III. 天文学—高等学校—教材 IV. P1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 100904 号

责任编辑:胡 艳      责任校对:刘 欣      版式设计:支 笛

---

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:通山金地印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:11.75 字数:294千字 插页:1

版次:2012年8月第1版      2012年8月第1次印刷

ISBN 978-7-307-09806-0/P·201      定价:23.00元

---

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

# 前 言

浩瀚的宇宙给人以无限遐想,其中蕴藏着无数奥秘等待着人类去探索,天文学正是人类发现、认识并解释宇宙奥秘的一门科学。作为自然科学的基础学科之一,天文学具有悠久的历史,几乎贯穿人类的整个发展过程,可谓人类文明进步的一面镜子。天文学不仅古老,而且极具生命力。天文学的研究课题始终都是每个时代科学发展的最前沿,促进着物理学、化学、地球科学等其他学科不断进步。

天文学从萌芽开始,就与人类的生产生活息息相关。“日出而作,日入而息”,远古时期人类就根据天文现象安排生活作息,并编制历法、确定节气来指导生产劳动。进入太空时代的今天,天文学与我们的关系更加密切,从日常生活中的时间服务、空间位置确定到国家战略性的空间计划,都离不开天文学的支持。

学习普通天文学,了解基本的天文知识,是大学生素质教育的一个重要内容,也是提高大学生科学素养的一个重要环节。掌握基础的天文学常识,可增强学生对谣言、迷信和伪科学的辨别能力,同时也可促使他们思考人类自身在宇宙中的地位,树立正确的宇宙观。了解天文学的基本概念和新的发现,不仅可以激发学生对科学的探索精神,也有助于培养他们科学、理性的思维。另外,天文学与其他许多专业学科都有着密切联系,学习天文学在拓宽知识面的同时,也可增加对本专业相关知识的理解,促进学科间的交叉。正因如此,武汉大学测绘学院一直把普通天文学作为一门重要的选修课程,在二年级上学期这一学习基础知识的关键时期开设。

本教材是为高等院校测绘工程和地球物理等非天文学专业的学生选修天文学课程编写的。天文学的内容十分广泛,普通天文学作为非天文专业的一门选修课程,讲授的内容不可能面面俱到,必须结合本专业的特点对内容进行取舍。在此背景下,笔者根据多年的教学经验,并结合测绘工程和地球物理专业的特点编写了本教材,主要内容包括天文学的基本概念、天球及参考系统、天文观测与天文测量、天体的运动及太阳系主要天体的概况。

在本教材的编写过程中,我们参考并引用了许多天文学及相关方面的书籍和教材,在此,我们对前人所做的工作深表敬意,并向相关作者致以衷心的感谢。书中部分图片等资料取自互联网,笔者一般都注明了出处,但部分资料出处由于难以追溯,可能未标明,还请读者谅解。由于我们水平有限,书中错误和不足之处在所难免,恳请广大读者和专家批评指正。

编者

2012年5月于武汉

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 为什么要学习天文学 .....	1
1.2 天文学研究什么内容 .....	2
1.2.1 宇宙 .....	2
1.2.2 宏观和宇观 .....	2
1.2.3 天体和天体系统 .....	3
1.2.4 时间、长度和质量 .....	3
1.2.5 天文学的分支 .....	5
1.3 天文学的发展 .....	6
1.3.1 古代天文学 .....	6
1.3.2 近、现代天文学 .....	9
1.4 中国古代天文学.....	11
1.4.1 中国古代天文学发展阶段.....	11
1.4.2 中国古代的宇宙理论 .....	13
1.4.3 中国古代计时方法 .....	13
思考题 .....	14
<b>第 2 章 天球及参考系统</b> .....	15
2.1 星空及其区划.....	15
2.1.1 星座 .....	15
2.1.2 星图、星表和星历.....	18
2.2 天球.....	19
2.2.1 基本点、线(轴)和面.....	19
2.2.2 地球的自转及天体的周日视运动 .....	22
2.2.3 地球的公转及天体的周年视运动 .....	23
2.2.4 岁差和章动 .....	24
2.3 球面三角初步.....	25
2.3.1 基本概念和知识 .....	26
2.3.2 球面三角形及其边和角的基本性质 .....	27
2.3.3 球面三角形的基本公式 .....	29
2.3.4 直角球面三角形 .....	30
2.4 常用天球坐标系统.....	30
2.4.1 天球坐标的一般形式 .....	30

2.4.2	天球坐标的特殊形式	31
2.4.3	天球坐标系统的类型	34
2.4.4	天球坐标系统之间的转换关系	36
2.4.5	天文经纬度与天球坐标间的关系	38
2.5	时间及其转换	40
2.5.1	时间基准	40
2.5.2	常用时间系统	41
2.6	时间比对	45
2.6.1	钟表的特性	45
2.6.2	无线电时号收录及时间的比对	46
2.7	年、月、星期和历法	47
2.7.1	年	47
2.7.2	月	47
2.7.3	星期	48
2.7.4	以地球绕太阳公转的周期制定的历法(太阳历)	48
2.7.5	以月相变化周期制定的历法(太阴历)	49
2.7.6	兼顾月相变化和地球绕日公转的历法(阴阳历)	49
2.7.7	其他记日方法	50
	思考题	50
<b>第3章</b>	<b>天文观测与天文测量</b>	<b>52</b>
3.1	天体的电磁辐射	52
3.1.1	电磁辐射、大气窗口和天体光谱	52
3.1.2	其他宇宙信息——粒子辐射和引力辐射	55
3.1.3	多普勒效应	55
3.2	望远镜	56
3.2.1	光学望远镜	57
3.2.2	射电望远镜	64
3.2.3	其他波段望远镜	67
3.3	天文测量	68
3.3.1	天文经度测量	68
3.3.2	天文纬度测量	74
3.3.3	天文方位角测量	78
3.3.4	太阳光学测量	79
3.3.5	天文测量中的主要误差	81
3.4	天体光度测量和光谱测量	81
3.4.1	天体光度测量	81
3.4.2	天体光谱测量	83
3.5	天体射电测量	85
3.5.1	河外射电源观测	85

3.5.2 太阳射电观测 .....	85
3.6 天体磁场测量 .....	86
3.7 天体引力场测量 .....	87
3.7.1 天体表面的直接观测 .....	87
3.7.2 以飞行器作为载体的遥测 .....	88
思考题 .....	88
<b>第4章 天体的运动</b> .....	<b>89</b>
4.1 行星的视运动及其解释 .....	89
4.1.1 地内行星的视运动 .....	90
4.1.2 地外行星的视运动 .....	91
4.1.3 行星的观测以及会合周期 .....	92
4.2 行星和卫星的轨道根数 .....	92
4.2.1 开普勒行星运动三定律 .....	92
4.2.2 轨道根数 .....	94
4.3 行星的引力摄动 .....	96
4.3.1 第八大行星——海王星的发现 .....	96
4.3.2 冥王星及其卫星的发现 .....	97
4.4 行星和卫星的轨道特征、引力范围和洛希限 .....	97
4.4.1 行星的轨道特征 .....	97
4.4.2 卫星的轨道特征 .....	98
4.4.3 引力作用范围 .....	99
4.4.4 洛希密度和洛希限 .....	99
思考题 .....	100
<b>第5章 太阳系的中心天体——太阳</b> .....	<b>101</b>
5.1 太阳概况 .....	101
5.1.1 体积和质量 .....	101
5.1.2 太阳的组成 .....	102
5.1.3 光度和温度 .....	103
5.1.4 太阳的自转 .....	103
5.1.5 日面坐标系 .....	103
5.1.6 太阳活动 .....	104
5.2 太阳内部 .....	104
5.2.1 日核——核反应区 .....	105
5.2.2 辐射区 .....	107
5.2.3 界面层 .....	107
5.2.4 对流区 .....	107
5.2.5 日震学 .....	108
5.3 太阳大气 .....	108

5.3.1	光球层 .....	108
5.3.2	色球层 .....	111
5.3.3	日冕层 .....	114
5.4	太阳磁场 .....	114
5.5	太阳黑子 .....	115
5.5.1	太阳黑子观测的历史 .....	115
5.5.2	黑子的形态 .....	115
5.5.3	黑子的性质 .....	116
5.5.4	黑子数,活动周期及分布 .....	116
5.6	太阳风 .....	118
	思考题 .....	119
<b>第6章</b>	<b>人类的家园——地球 .....</b>	<b>120</b>
6.1	地球概况 .....	120
6.1.1	地球质量 .....	120
6.1.2	地球的形状 .....	120
6.1.3	地球的场 .....	120
6.2	地球内部 .....	121
6.3	地球圈层 .....	122
6.3.1	水圈 .....	123
6.3.2	大气圈 .....	123
6.4	地球磁场和重力场 .....	126
6.4.1	地球磁场 .....	126
6.4.2	地球重力场 .....	127
6.5	地球自转和潮汐 .....	128
6.5.1	日长 .....	128
6.5.2	极移 .....	128
6.5.3	岁差和章动 .....	128
6.5.4	天文潮汐 .....	130
6.6	对地观测 .....	131
	思考题 .....	132
<b>第7章</b>	<b>距离地球最近的自然天体——月球 .....</b>	<b>133</b>
7.1	月球概况 .....	133
7.2	月球内部 .....	134
7.3	月球表面和大气 .....	134
7.4	月球磁场和重力场 .....	135
7.5	月球的运动 .....	135
7.5.1	月相 .....	136
7.5.2	食 .....	136



7.5.3 其他运动 .....	138
7.6 月球探测 .....	138
7.6.1 阿波罗计划(Apollo) .....	138
7.6.2 嫦娥工程 .....	139
7.6.3 其他探月计划 .....	140
思考题 .....	140
<b>第8章 太阳系的其他天体</b> .....	<b>141</b>
8.1 概况 .....	141
8.1.1 基本物理信息 .....	141
8.1.2 行星的卫星 .....	142
8.1.3 行星和卫星的自转 .....	143
8.1.4 行星和卫星的内部结构 .....	144
8.1.5 行星的反照率 .....	144
8.2 距离太阳最近的行星——水星 .....	145
8.2.1 水星内部 .....	146
8.2.2 水星表面 .....	146
8.2.3 水星大气 .....	146
8.2.4 水星磁场和重力场 .....	147
8.2.5 水星探测器 .....	147
8.3 与地球最类似的行星——金星 .....	149
8.3.1 金星内部 .....	150
8.3.2 金星表面 .....	150
8.3.3 金星大气 .....	150
8.3.4 金星磁场和重力场 .....	151
8.3.5 金星探测器 .....	151
8.4 人类最有可能移居的行星——火星 .....	152
8.4.1 火星内部 .....	152
8.4.2 火星表面 .....	153
8.4.3 火星磁场和重力场 .....	154
8.4.4 火星卫星 .....	154
8.4.5 火星探测器 .....	155
8.5 最神秘的行星区域——小行星带 .....	156
8.5.1 小行星带的起源 .....	156
8.5.2 小行星带特征 .....	157
8.5.3 小行星带探测 .....	158
8.6 太阳系最大的行星——木星 .....	158
8.6.1 木星内部 .....	158
8.6.2 木星表面 .....	159
8.6.3 木星卫星 .....	159

8.6.4 木星探测器 .....	160
8.7 环绕卫星最可能有生命的行星——土星 .....	161
8.7.1 土星内部 .....	162
8.7.2 土星表面 .....	162
8.7.3 土星卫星 .....	163
8.7.4 土星探测器 .....	163
8.8 近代发现的第一颗大行星——天王星 .....	163
8.8.1 天王星内部 .....	164
8.8.2 天王星表面 .....	164
8.8.3 天王星卫星 .....	164
8.8.4 天王星探测器 .....	164
8.9 基于天体力学理论的重大发现——海王星 .....	165
8.9.1 海王星内部 .....	165
8.9.2 海王星表面 .....	166
8.9.3 海王星卫星 .....	166
8.9.4 海王星探测器 .....	166
8.10 走下“神坛”的前第九大行星——冥王星 .....	166
8.10.1 冥王星内部 .....	168
8.10.2 冥王星表面 .....	168
8.10.3 冥王星卫星 .....	168
8.10.4 冥王星探测器 .....	168
思考题 .....	169
 附录 .....	 170
参考文献 .....	176

# 第1章 绪 论

天文学是一门历史悠久的学科，最早可以追溯到古人占卜、祭祀等活动中与星象有关的观测和研究。天文学又是一门蓬勃发展的学科，伴随着物理、化学、生物、空间探测技术等方面的进步，现代天文学成为多学科交叉融合的前沿科学。天文学的研究对象是各种人类文明普遍敬畏的“天”——宇宙，以及宇宙和人类的关系。自古天文学产生起，宇宙就是天文学最主要的研究对象。而人类本身也是天文学的重要研究对象之一。区别于生物学、社会学等学科，天文学是从宏观甚至宇观的角度研究人和人类的。因此，在开始学习天文学之前，首先需要详述为什么要学习天文学。

## 1.1 为什么要学习天文学

天文学是传统的基础学科之一，它与数学、物理学、化学等其他基础学科相辅相成、相互促进，并共同推动科学技术的发展进步。纵观天文学的发展历程，它的每一次发展都能推动相关学科的进步，而相关学科的发展反过来又使得天文学发生新的飞跃。例如，开普勒行星运动三大定律的提出导致后来牛顿发现万有引力定律，奠定了经典力学的基础；万有引力定律应用到天文学研究中，又诞生了天文学的新分支——天体力学。又如，天文观测发现“太阳元素”氢，促使人们在地球上发现了惰性元素这一类新的化学元素；而化学的进步又反过来促进天文学对太空物质组成成分的分析与研究。除此之外，天文学与地球科学有着共同的研究对象，两个学科相互渗透、密不可分。仅以地球物理领域为例，地球物理学以及测绘、遥感、资源环境等学科无不是以地球或其他天体为研究对象的，只是在尺度范围上与天文学有所不同。然而，地球物理学和测绘学科所需的时空基准、经典概念和观测方法很多都与天文学密切相关，而且地球本来就是距离我们最近的自然天体。比如，地球半径的量测是通过观测恒星求得纬度差，进而由两测站间的距离反算得到；古人测量海图和航海则只能依靠恒星定向；牛顿经典力学成立的参考系统——高精度的（似）惯性系也是基于天文学理论的方法来进行测量和维持的。

天文学除了有重要的科学意义外，还与我们的生活息息相关。例如，我们平常使用的时间，其定义源自于人类对天体运行的认识，时间的测定也与天体有关；位置、方向的确定同样离不开天文学的知识，古时候，在茫茫大海上航行主要依靠辨别和观测恒星来指示方向；实际生活中的天气、气候等季节变化以及各种天文现象也只有利用天文学的知识才能给出正确的解释，否则就会被一些迷信所迷惑，如古时候人们对日食现象缺乏科学的认识，误以为“天狗食日”，认为它是不祥之兆。可见，掌握天文学的基本知识对于我们日常的生产、生活有指导意义。

此外，天文学包含了丰富的哲学道理，揭示了自然界固有的辩证法。哲学中许多概念都能在天文学中找到例证，如“运动”与“静止”、“绝对”与“相对”、“宏观”与“微观”等。

人类通过天文学去不断认识宇宙，才能正确了解我们人类自身在宇宙中的位置以及与自然界的关系，才能真正意识到人的伟大和渺小，才能真正懂得“天”、“地”、“人”之间和谐关系的重要性。

我国有句俗语：“上知天文、下知地理”，用来形容一个人知识渊博，可见天文学在人们心中的地位。今天人类已经进入太空时代，我们现在日常生活的所有事情直接或间接地都会与天文学发生联系。因此，作为这个时代的大学生，学习并掌握一定的天文学知识，不仅对本专业的学习有所帮助，而且对于增加自身的人文科学素养、树立正确的宇宙观也有着重要意义。

## 1.2 天文学研究什么内容

天文学的研究内容十分广泛，可抽象为对宇宙及其与人类的相关性研究。具体而言，天文学是人类观测研究各种自然天体和天体系统，研究它们的位置、分布、运动、结构、物理状况、化学组成以及起源和演化规律的一门自然科学(余明 2001；胡中为 2003；刘学富 2004)，而且这些研究都是从宏观或宇观的角度并在特定时空基准下进行的。

### 1.2.1 宇宙

谈天文学不可避免地要说到宇宙，最早关于宇宙的文字记录出自尸佼的《尸子》<sup>①</sup>：“天地四方曰宇，往古来今曰宙”。《淮南子·原道训》<sup>②</sup>中有“横四维而含阴阳，统宇宙而章三光”，高诱<sup>③</sup>对“宇宙”的注释为“四方上下曰宇，古往今来曰宙，以喻万物”，即使是科学技术相对《尸子》和《淮南子》成书年代高度发达的当代，该经典定义也是恰当的。

### 1.2.2 宏观和宇观

天文学研究宇宙，研究万物，但其尺度是有范围的，“原子”、“纳米”等概念和微观事物显然不是天文学研究的尺度范围，而宏观和宇观才是天文学研究的对象尺度。

什么是宏观？宏观是研究宏观世界的尺度。“宏观世界”狭义的定义为“把质量范围在10~15克、尺度范围在5~10厘米以上的物质客体及其现象的总和称为宏观世界”，于是狭义的“宏观”是指5~10厘米以上的尺度。处于该尺度的物质一般而言都比较容易观察，往往通过肉眼就可以获得它们的一般特性。无机类包括地球上所有的物体，近地表面的大气层，太阳，太阳系内的行星、卫星、彗星和其他恒星、天体等；有机类包括生物特性的人、其他动物、植物种群、生物群落、生态系统、生物圈以及人类社会等，都属于宏观的尺度。在宏观世界里，物质的运动一般都服从经典的牛顿力学规律，如行星围绕恒星运动符合牛顿力学原理。但是不同性质的宏观世界种群有着其自身的内在运行机制，比如生物的繁衍、生命的运动、人类社会的变迁等。广义的宏观则是抛开客观物质的自身属性，从人类认识自然的观点，即人类可以直接观测/测量，且能够以物质手段加以改变的对象。

---

<sup>①</sup> 尸佼所著《尸子》在宋以后仅余残断篇章，现行的《尸子》为清代汪继培、孙星衍在嘉庆年间辑刻的版本。

<sup>②</sup> 淮南王刘安(B. C. 179—B. C. 121)及门人所著《淮南子》内篇之卷一：原道训。

<sup>③</sup> 高诱(A. C. 168—A. C. 212)以注《淮南子》而闻名。

那么，那些我们可以观测，但是人类不能够以物质手段加以改变的时间和空间区域又该如何划分呢？

1962年，著名天文学家戴文赛(1911—1979)在《宇观的物质过程》中首次提出了“宇观”的概念——“大质量加大尺度，既是宇观过程的特征，又是它的条件”。“大”是宇观世界的特征，区别于广义的宏观世界，在宇观世界中，物质具有高密度、高温、高压、大质量、大尺度、大时标等特征，运动速度快，甚至接近光速，万有引力起主要作用，并服从相对论力学规律，如天文学中研究的星系、星系团、总星系以及距地球数百亿光年的宇宙部分。

### 1.2.3 天体和天体系统

天体是宇宙各种物质客体的总称，包括恒星、行星、卫星、彗星、流星体、陨星、小行星、星团、星系、星际物质等。

一些天体的运动和特征密切相关而形成一个体系，被称为天体系统，如地月系统、太阳系、银河系、河外星系、星系群/星系团、超星系团、总星系等。

### 1.2.4 时间、长度和质量

在国际单位制中，时间、长度和质量的国际制(SI, système international d'unités)标准单位依次是秒(s)、米(m)和千克(kg)，可以通过在标准单位前添加表示量级的符号的派生方式给出更大或更小的单位(表 1-1)。除了“分”和“厘”，其他符号之间都以  $10^3$  量级递增或递减。

表 1-1 国际制单位的前缀

符号	名称	英文	量级
B	—	Bronto	$10^{27}$
Y	佑(它)	Yotta	$10^{24}$
Z	泽(它)	Zetta	$10^{21}$
E	艾(可萨)	Exsa	$10^{18}$
P	拍(它)	Peta	$10^{15}$
T	太(拉)	Tera	$10^{12}$
G	吉(伽)	Giga	$10^9$
M	兆	Mega	$10^6$
k	千	Kilo	$10^3$
标准单位			100
d	分	Deci	$10^{-1}$
c	厘	Centi	$10^{-2}$
m	毫	Milli	$10^{-3}$
$\mu$	微	Micro	$10^{-6}$
n	纳	Nano	$10^{-9}$

## 1. 时间

时间，即中国古人所谓“宙”。虽然人类很早就以自然界的周期性现象作为时间基准指导生产、生活活动，如“日出而作，日入而息”<sup>①</sup>，但直到 19 世纪，高精度、系统化定义的时间概念才形成。1890 年，“平太阳”的概念提出，将一个平太阳日的 1/86400 定义为 1s，该定义一直沿用到 1960 年。由于地球自转有长期变慢的效应，利用平太阳日的 1/86400 定义的秒逐渐在变长，不利于使用。于是 1960 年，规定 1900 年地球公转周期的 1/31556925.9747 为 1s，在理论上克服了秒长变长的问题，但是由于该秒长不能重现（再次观测），同样存在秒长不易统一和维持的问题。

为了获取高精度、易于观测和统一的时间基准，1967 年，第 13 届国际度量衡会议通过一项决议，决定采纳原子时秒的概念：铯 133 原子基态的两个超精细能级之间跃迁对应辐射 9192631770 个周期为 1s，并一直沿用至今。时间的国际标准单位为秒(s)，派生单位有毫秒(ms)、微秒( $\mu\text{s}$ )和纳秒(ns)，它们之间的转换如下：

$$\begin{aligned} 1\text{ms} &= 1 \times 10^{-3}\text{s} \\ 1\mu\text{s} &= 1 \times 10^{-6}\text{s} \\ 1\text{ns} &= 1 \times 10^{-9}\text{s} \end{aligned} \quad (1.1)$$

不同应用领域对时间观测的精度有着多样化的要求(表 1-2)。而且时间本身在天文学中具有非常重要的地位，所以有关的内容还将在后续章节详细叙述。

表 1-2 时间的典型应用及精度<sup>②</sup>

应用范围	时刻准确度(ns)	频率稳定度(Hz)
卫星精密定位和卫星精密定轨	优于 $\pm 5$	优于 $\pm 1 \times 10^{-13}$
卫星导航	$\pm 20$	$\pm 2 \times 10^{-13}$
电子侦察卫星	$\pm 10$	$\pm 5 \times 10^{-13}$
巡航导弹	$\pm 50$	$\pm 5 \times 10^{-13}$
卫星测轨	$\pm 50$	$\pm 1 \times 10^{-12}$
高速数字通信网	$\pm 500$	$\pm 5 \times 10^{-12}$
电力传输网	$\pm 1000$	$\pm 1 \times 10^{-11}$
电视校频	—	$\pm 5 \times 10^{-12}$

## 2. 长度

长度的国际制基本单位是米(m)。1791 年，法国科学院采用在海平面上地球赤道到北极点距离的一千万分之一作为 1 米。米的定义不断精化(Cardarelli 2003)，直到 1983 年，将光在真空中 1/299792458s 的时间间隔所经路程的长度定义为 1 米，并一直沿用至今(表 1-3)。

<sup>①</sup> 先秦《击壤歌》：“日出而作，日入而息，凿井而饮，耕田而食。帝力于我何有哉！”

<sup>②</sup> 修改自 <http://www.time.ac.cn/time/application.htm>

表 1-3

米定义的演化 (Cardarelli 2003)

定义	日期	绝对误差	相对误差
地球子午线(赤道到北极)长度的 1/10000000, 由 Delambre 和 Méchain 测量	1795	0.5 ~ 0.1 mm	$10^{-4}$
建立了第一个国际米原器(铂)定义的米	1799	0.05 ~ 0.01 mm	$10^{-5}$
铂铱合金米原器在冰的熔点定义的米(第 1 届 CGPM, Conférence Générale des Poids et Mesures)	1889	0.2 ~ 0.1 $\mu\text{m}$	$10^{-7}$
铂铱合金米原器在冰的熔点, 标准大气压下, 并由两个滚筒支撑所定义的米(第 7 届 CGPM)	1927	无	无
超精细原子跃迁(第 11 届 CGPM)	1960	0.01 ~ 0.005 $\mu\text{m}$	$10^{-8}$
光在真空中 1/299792458s 的时间间隔所经路程的长度(第 17 届 CGPM)	1983	0.1 nm	$10^{-10}$

由于 1 米表示的距离较短, 如果用于天文学, 许多数字的长度太大, 形成所谓的“天文数字”而不便阅读, 所以, 在天文学中, 经常使用一些很大的长度单位。因天文学最初的重要研究是从太阳系开始的, 所以一个自然的单位就是日地的平均距离。该距离被定义为一个天文单位(AU: Astronomical Unit), 即

$$1\text{AU} = 1.4959787 \times 10^{11}\text{m} \quad (1.2)$$

随着人类的目光涉及宇宙更遥远的部分, 天文单位还是太小, 所以又引入的更大的距离单位, 以光在真空中一年时间传播的距离——光年(LY, light year)为单位, 1 光年约合 9.46 万亿千米。比如离太阳最近的恒星距太阳 4.22 光年。

$$1\text{LY} = 63240\text{AU} \quad (1.3)$$

因为历史的原因, 秒差距(pc, parsec)也经常用于表示天体间的距离。秒差距是一种最古老的, 同时也是最标准的测量恒星距离的方法。当以地球公转轨道的平均半径, 即 1 个天文单位为底边所对应的等腰三角形的顶角的大小为 1 角秒时, 三角形两等条边的长度差异可以忽略。因此, 该三角形可近似为直角三角形, 其一条边的长度称为 1 秒差距, 即

$$1\text{pc} = 3.2616\text{LY} \quad (1.4)$$

### 3. 质量

质量的国际制标准单位为千克(kg), 其定义为 BIPM 保存的国际质量原器的质量。千克最初是在法国创建米制时提出, 规定 1 千克等于 4℃ 时 1 升纯水的质量。在此基础上, 1875 年又规定以国际质量原器作为千克标准。国际质量原器又称千克原器, 是一圆柱形铂铱合金, 直径和高均约为 3.9 厘米, 由 BIPM 保存在法国塞弗尔珍藏室。1901 年第三届国际计量大会正式规定国际质量原器是国际质量——千克的标准, 并一直沿用至今。与千克的原始规定相比, 国际质量原器等于 1.000028 $\text{dm}^3$  的纯水在 4℃ 时的质量, 比 4℃ 时的 1 升纯水略重。

$$1M_{\odot} = 1.989 \times 10^{30}\text{kg} \quad (1.5)$$

天文学上经常会有天体质量的描述, 显然, 用千克作为单位, 同样有“天文数字”的问题, 所以天文学引入以太阳质量作为单位质量的表示方法。

#### 1.2.5 天文学的分支

经典的天文学分类方法将天文学分为天体测量学、天体力学和天体物理学, 但是随着观测手段的进步和天文学理论的发展, 分类也趋于细化(陈佳洱, 吴述尧等 1997)。现

代天文学可分为天体测量学、天体力学、太阳物理和行星物理学、恒星和星际介质物理学、星系物理和宇宙学、光学和红外天文学、射电天文学、空间天文学等。

天体测量学包括球面天文学、方位天文学、实用天文学、天文地球动力学等方面的内容；天体力学主要研究摄动理论、天体力学定性理论、天体力学数值方法、历书天文学等；天体物理学包括太阳物理学，恒星物理学等方面的内容。

## 1.3 天文学的发展

从人类文明发展的时代序列，我们看看天文学是从哪里来，发展如何的。这对于我们把握和认识天文学又将往哪里去是非常有益的。

### 1.3.1 古代天文学

天文学最初可能源于人类对天体的崇拜，新石器时代（B. C. 18000—B. C. 5000/B. C. 2000）的灰陶尊（图 1-1，中国山东莒县出土）已经有天象的记录。伴随人类原始社会的发展，天象又与一些事件（如自然灾害，战争，死亡等）相联系，从而形成了最初的占星术，进而发展到占星学（Astrology）。

由于当时理论和技术的局限性，在现代人看来，占星术可能是愚昧和无知的表现，但是从历史的观点看，占星术理应称为占星学，事实上其被认为是上古时代的天文学，代表了当时的先进科学和文化：

- ① 占星术基于比较严谨和精确的古代天文观测；
- ② 相对于一无所知，用占星的观点去解释某些现象无疑是一种进步；
- ③ 神职人员大都有很高的社会地位，且往往能够在心理上给普通人很大的帮助；
- ④ 对现在人类的文明和文化产生了深远影响，如“乾坤”、“福星”、“斗转星移”、“黄道吉日”等说法都源于占星术，如图 1-2 所示。



图 1-1 记录日出的灰陶尊



图 1-2 古人占星①

① 缘自 Francesca Rochberg 所著 *The Heavenly Writing: Divination, Horoscopy, and Astronomy in Mesopotamian culture* 封面。



占星学对天文现象的大规模观测使人类得以认识太空和我们生活的地球，于是产生了天圆地方说，这又是人类试图描述我们生活空间的一个努力，是十分有意义的，该学说就像一个“靶子”，起到了抛砖引玉的作用，后人以该学说为指导，对自然界进行观测，发现了很多有悖于该理论的现象，这为后续提出更科学的理论奠定了基础。例如，居住于海边的人们看到归航的帆船，会思考为什么我先看到桅杆的顶部，再看到整个帆，最后才看到整条船；而居住于内地的人会发现，为什么在不同地方每年春分这一天的正午，太阳的高度不一样；地球是圆球形的理论也渐渐浮出水面。

最早明确记录地球是圆球形的是古希腊人毕达哥拉斯(Pythagoras, B. C. 580—B. C. 500)，约150年之后的亚里士多德(Aristotle, B. C. 384—B. C. 322)在其论著《论天》(De Caelo)中给出了两个令人信服的观测实例。第一，亚里士多德认为月食是由于地球运行到太阳与月亮之间而形成的，且地球在月亮上的影子总是圆的，这只有在地球本身为球形的前提下才成立。如果地球是一块平坦的圆盘，除非月食总是发生在太阳正好位于这个圆盘中心之下的时候，否则地球的影子就会被拉长而成为椭圆。第二，基于希腊人的旅行常识，在越往南的地区看星空，北极星越靠近地平线。亚里士多德甚至根据北极星在埃及和在希腊呈现出来的位置的差别，估计地球大圆长度为4000000斯塔迪亚(Hawking 1992)。

“既然地球是圆球形的，那么它有多大？”这是人类在得到地球是圆球形的证据之后自然会提及的问题。这一疑问揭开了远古比较高精度的天文测量和大地测量的序幕。文献记录最早实施地球半径测量的是古埃及人埃拉托斯特尼(Eratosthenes, B. C. 276—B. C. 194)，他发现当夏日正午的阳光照射赛伊尼(Syene, 即现今位于尼罗河畔的埃及城市Aswan)的时候，城里那些窄而深的井会被太阳照得通亮耀眼，甚至井底也是亮着的，看不到井壁在其上投射的影子，说明当地的阳光是垂直于地面的。然而，当埃拉托斯特尼往北来到经度相近的亚历山大城(Alexandria)时，却发现那里的塔在阳光照射下无论何时都会有影子，夏日正午时分影子最短，大致是原塔高度的1/8；影子的方向恰好是背着去赛伊尼城的方向。通过一系列三角函数的运算，得到地球半径是40000斯塔迪亚，由于斯塔迪亚的具体数值无法考证(不同学者考证1斯塔迪亚相当于现在的154m到215m不等)，所以我们只能估算当时测量的误差约为10%，考虑到当时两地距离的测量是使用商队骆驼的脚步进行度量的，所以这个结果已经非常了不起了。

古人在考虑地球有多大的同时，也在考虑地球在宇宙中的位置。这直接激发了古代宇宙理论和天体运动理论的蓬勃发展，涌现了许多种理论和学说，虽然这些学说由于分别受东、西方不同时期思维模式的影响而在细节上有很多不同，但大致可以按照人类文明的发展进程分为天圆地方说、地圆(球)说及地心说、日心说。

### 1. 天圆地方说

具有代表性的有中国的“盖天说”和古希腊泰勒斯的学说。《晋书·天文志》中记载：“天圆如张盖，地方如棋局。天旁转如推磨而左行，日月右行，随天左转，故实东行，而天牵之以西没。”后来，“盖天说”又进一步改进为：“天似盖笠，地法覆盘，天地各中高外下。”古希腊泰勒斯(Thales, B. C. 625—B. C. 547)认为，大地是浮于水上的圆盘。

天圆地方说或天圆地圆说提出后，人类很快发现了该理论与实际观测有许多矛盾之处，于是地圆(球)说及地心说渐渐建立起来。

### 2. 地心说

有明确记载，最早提出地球是圆球形的是古希腊的毕达哥拉斯，他认为宇宙应该是一