



全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

# 地球科学

## 概论

主编 祝萍

煤炭工业出版社

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

# 地球科学概论

主 编 祝 萍

副主编 刘国伟

煤炭工业出版社

·北 京·

## 内 容 提 要

本书系统介绍了地球科学的基本知识、基本概念、基本原理和地质研究的基本方法,其主要内容包括地球概况、地壳物质组成、地质年代和地质作用、内力地质作用、外力地质作用、地质构造、地球动力系统、地球资源、地球环境与地质灾害等。

本书可作为高职高专院校地质类专业的教材,还可供地质院校、石油院校等与地球科学有关的师生学习参考,也可供从事地球科学工作以及希望了解地球科学的人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

地球科学概论/祝萍主编. —北京:煤炭工业出版社,  
2009

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材  
ISBN 978-7-5020-3228-9

I. 地… II. 祝… III. 地球科学-概论-高等学校:技  
术学校-教材 IV. P

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第108873号

煤炭工业出版社 出版  
(北京市朝阳区芍药居35号 100029)  
网址: www.cciph.com.cn  
北京京科印刷有限公司 印刷  
新华书店北京发行所 发行

\*  
开本 787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 11 插页 2  
字数 255千字 印数 1—5,000  
2009年7月第1版 2009年7月第1次印刷  
社内编号 6029 定价 28.00元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

全国煤炭高职高专  
矿山地质专业“十一五”规划教材  
编审委员会

主任:魏焕成

副主任:李北平 宋永斌 王正荣 王 强

秘书长:蔚永宁

委员:(按姓氏笔画为序)

王秀兰 叶启彬 刘国伟 李东华

李红晓 李荣义 吕志彬 吴文金

陈春龙 陈贵仁 郑瑞宏 周丽霞

董秀桃

# 前 言

为适应高职高专院校教学改革的形势,根据全国高职高专地质类专业培养目标的要求,我们组织编写了《地球科学概论》,作为地质类专业公共基础课的教材,使学生较全面地了解地球科学概况。

地球科学所涉及的领域广,分支学科多,要求理论和应用紧密结合。本教材作为地质类专业学习地球科学的入门教材,系统地介绍了地球科学的基本知识、基本概念、基本原理和地质研究的基本方法,内容涉及地球科学的地质学、环境与地质灾害、地球资源、天文等方面。

根据高等职业教育的特点,教材内容在侧重相关基本知识的同时,注重其实用性。本教材编写密切结合地质类专业实际需求,简明扼要,重点突出。

本教材讲义曾在北京工业职业技术学院工程地质勘查专业(0731)的教学中试用,能满足高职高专地质类专业的要求,教学效果良好。通过学习使学生了解地质类专业所涉及的领域,为以后学习及就业提供指导。

本教材第一章、第二章、第三章、第四章第四节、第七章、第八章和第九章由北京工业职业技术学院的祝萍编写;第四章第一节~第三节、第五章和第六章由长治职业技术学院的刘国伟编写;祝萍任主编,刘国伟任副主编。

限于编者的业务水平,书中难免存在缺点和不妥之处,希望使用本教材的老师、学生和读者提出宝贵意见。

编 者

2009年7月

# 目 录

绪论	(1)
第一章 地球概况	(6)
第一节 宇宙中的地球	(6)
第二节 地球的形态	(11)
第三节 地球的主要物理性质	(15)
第四节 地球的圈层构造	(19)
第二章 地壳的物质组成	(25)
第一节 地壳的化学成分	(25)
第二节 矿物	(26)
第三节 岩石	(34)
第三章 地质年代和地质作用	(41)
第一节 地质年代	(41)
第二节 地质作用概述	(47)
第四章 内力地质作用	(49)
第一节 地壳运动	(49)
第二节 岩浆作用	(51)
第三节 变质作用	(55)
第四节 地震作用	(59)
第五章 外力地质作用	(66)
第一节 风化作用	(66)
第二节 剥蚀作用	(73)
第三节 搬运作用	(85)
第四节 沉积作用	(90)
第五节 固结成岩作用	(98)
第六章 地质构造	(100)
第一节 岩层产状	(100)
第二节 地层的接触关系	(103)
第三节 褶皱构造	(106)
第四节 断裂构造	(112)
第七章 全球动力系统	(120)
第一节 大陆漂移	(120)
第二节 海底扩张	(123)

第三节	板块构造	.....	(127)
<b>第八章</b>	<b>地球资源</b>	.....	(131)
第一节	矿产资源	.....	(131)
第二节	能源资源	.....	(137)
第三节	土地资源	.....	(145)
第四节	水资源	.....	(148)
第五节	生物资源	.....	(150)
<b>第九章</b>	<b>地球环境与自然灾害</b>	.....	(153)
(第一节)	地球环境	.....	(153)
(第二节)	自然灾害	.....	(159)
<b>主要参考文献</b>			(168)
<b>彩图插页</b>			
(19)	.....	.....	.....
(20)	.....	.....	.....
(21)	.....	.....	.....
(22)	.....	.....	.....
(23)	.....	.....	.....
(24)	.....	.....	.....
(25)	.....	.....	.....
(26)	.....	.....	.....
(27)	.....	.....	.....
(28)	.....	.....	.....
(29)	.....	.....	.....
(30)	.....	.....	.....
(31)	.....	.....	.....
(32)	.....	.....	.....
(33)	.....	.....	.....
(34)	.....	.....	.....
(35)	.....	.....	.....
(36)	.....	.....	.....
(37)	.....	.....	.....
(38)	.....	.....	.....
(39)	.....	.....	.....
(40)	.....	.....	.....
(41)	.....	.....	.....
(42)	.....	.....	.....
(43)	.....	.....	.....
(44)	.....	.....	.....
(45)	.....	.....	.....
(46)	.....	.....	.....
(47)	.....	.....	.....
(48)	.....	.....	.....
(49)	.....	.....	.....
(50)	.....	.....	.....
(51)	.....	.....	.....
(52)	.....	.....	.....
(53)	.....	.....	.....
(54)	.....	.....	.....
(55)	.....	.....	.....
(56)	.....	.....	.....
(57)	.....	.....	.....
(58)	.....	.....	.....
(59)	.....	.....	.....
(60)	.....	.....	.....
(61)	.....	.....	.....
(62)	.....	.....	.....
(63)	.....	.....	.....
(64)	.....	.....	.....
(65)	.....	.....	.....
(66)	.....	.....	.....
(67)	.....	.....	.....
(68)	.....	.....	.....
(69)	.....	.....	.....
(70)	.....	.....	.....
(71)	.....	.....	.....
(72)	.....	.....	.....
(73)	.....	.....	.....
(74)	.....	.....	.....
(75)	.....	.....	.....
(76)	.....	.....	.....
(77)	.....	.....	.....
(78)	.....	.....	.....
(79)	.....	.....	.....
(80)	.....	.....	.....
(81)	.....	.....	.....
(82)	.....	.....	.....
(83)	.....	.....	.....
(84)	.....	.....	.....
(85)	.....	.....	.....
(86)	.....	.....	.....
(87)	.....	.....	.....
(88)	.....	.....	.....
(89)	.....	.....	.....
(90)	.....	.....	.....
(91)	.....	.....	.....
(92)	.....	.....	.....
(93)	.....	.....	.....
(94)	.....	.....	.....
(95)	.....	.....	.....
(96)	.....	.....	.....
(97)	.....	.....	.....
(98)	.....	.....	.....
(99)	.....	.....	.....
(100)	.....	.....	.....
(101)	.....	.....	.....
(102)	.....	.....	.....
(103)	.....	.....	.....
(104)	.....	.....	.....
(105)	.....	.....	.....
(106)	.....	.....	.....
(107)	.....	.....	.....
(108)	.....	.....	.....
(109)	.....	.....	.....
(110)	.....	.....	.....
(111)	.....	.....	.....
(112)	.....	.....	.....
(113)	.....	.....	.....
(114)	.....	.....	.....
(115)	.....	.....	.....
(116)	.....	.....	.....
(117)	.....	.....	.....
(118)	.....	.....	.....
(119)	.....	.....	.....
(120)	.....	.....	.....
(121)	.....	.....	.....
(122)	.....	.....	.....
(123)	.....	.....	.....
(124)	.....	.....	.....
(125)	.....	.....	.....
(126)	.....	.....	.....
(127)	.....	.....	.....
(128)	.....	.....	.....
(129)	.....	.....	.....
(130)	.....	.....	.....
(131)	.....	.....	.....
(132)	.....	.....	.....
(133)	.....	.....	.....
(134)	.....	.....	.....
(135)	.....	.....	.....
(136)	.....	.....	.....
(137)	.....	.....	.....
(138)	.....	.....	.....
(139)	.....	.....	.....
(140)	.....	.....	.....
(141)	.....	.....	.....
(142)	.....	.....	.....
(143)	.....	.....	.....
(144)	.....	.....	.....
(145)	.....	.....	.....
(146)	.....	.....	.....
(147)	.....	.....	.....
(148)	.....	.....	.....
(149)	.....	.....	.....
(150)	.....	.....	.....
(151)	.....	.....	.....
(152)	.....	.....	.....
(153)	.....	.....	.....

# 绪 论

## 一、地球科学的研究对象、内容和任务

地球是宇宙中正在运动和演变的一颗星体,它独特的圈层结构和地表环境成为人类赖以生存和发展的唯一家园。因此,了解和研究地球历史是人类共同愿望。人类在长期的实践中逐步认识地球并逐渐形成了以地球为研究对象的科学——地球科学。

地球科学简称地学,是六大基础自然科学(数学、物理学、化学、天文学、地学、生物学)之一。地球科学以整体的地球作为研究对象,包括自地心至地球外层空间十分广阔的范围,即固体地圈、大气圈、水圈和生物圈组成的一个开放的、复杂的巨大系统——地球系统。地球科学是系统研究地球的物质组成、运动、时空演化及其形成机制的学科,是一个庞大的超级学科体系群,根据实际研究的不同圈层范围、内容和服务目的,传统上划分出众多的一级和二级学科分类体系(表0-1)。

表0-1 地球科学的学科分类体系

I. 按圈层范围		II. 按学科交叉		III. 按服务目的	
大气科学	大气物理学	地球物理学	固体地球物理学	环境地学	
	气象学		地磁与高空物理学	经济地学	
	天气动力学等		地震学等		
海洋科学	物理海洋学	地球化学	元素地球化学	工程地学	
	生物海洋学		同位素地球化学	水文地学	
	环境海洋学等		生物地球化学等		
地理科学	自然地理学	地生物学	生态学	遥感地学	
	经济地理学		生物地理学	航空地学	
	人文地理学		古生物学等		
地质科学	区域地理学等	天文地学	天文地球动力学	城市地学	
	地球物质成分学		行星地理学	农业地学	
	动力地质学			天文地质学等	旅游地学
	地史学				军事地学
区域地质学等	数学地学	数学地质	火山学		
		数字地球等	土壤学		
				天气预报	
				地震预报	
				灾害学等	



表 0-1 的第 I 栏中,大气科学研究大气圈的组成、结构和气候过程;海洋科学研究水圈海洋部分的物理、化学、生物现象的运动过程,地理科学研究地球表层的地理环境;地质科学研究地球的物质成分、内部结构、外部特征、各圈层间的相互作用和演化历史。其中,地理科学和地质科学都涉及地球的物理、化学、生物作用过程和不同圈层之间相互关系,具有更高的综合性。第 II 栏反映了地学与其他基础科学之间的交叉渗透关系。第 III 栏列出的是为人类直接服务的地球科学分支学科。

在地球科学的学科体系中,其中地质学研究领域广博,分支学科较多,并且是以研究地球的本质特征为目的,因此地质学是地球科学的最主要组成部分。根据所研究的内容和任务的不同,地质学主要分支学科有:

- (1) 研究地球的物质组成:结晶学、矿物学、岩石学等。
- (2) 研究地球构造:构造地质学、地球动力学等。
- (3) 研究地壳的形成、发展历史和演化规律:古生物学、地层学、地史学、地貌学、古地理学、古气候学、第四纪地质、区域地质学等。
- (4) 研究地质学的应用:包括研究地球各种矿产资源的地球物理勘探、矿床学、石油地质学、煤矿地质学、水文地质学等以及研究地质与人类生活、环境及自然灾害的工程地质学、环境地质学、地震地质学等。
- (5) 随着科学技术的发展,近几十年来地质学出现了一些边缘及新兴学科:数学地质、数字地球、遥感地质学、同位素地质学、地球化学等。

地球科学的根本任务,是正确认识地球系统的基本特征和自身发展规律,合理地开发利用自然资源,保护与改善生存环境,有效防治自然灾害,协调人与自然的的关系,为人类社会的可持续发展服务。

## 二、地球科学的特点和研究方法

地球科学具有明显的全球性特征,因此许多自然现象和过程都不受国界的限制。20 世纪 60 年代板块构造学说的出现,首先在固体地球研究中建立了全球观念。80 年代以来大气科学和海洋科学的发展,也已经走向全球化,著名的厄尔尼诺现象引起的气候灾害影响遍及全球 3/4 范围,就是一个实例。地球科学的全球性特点决定了人们必须采用全球范围调查研究和观测方法。随着科学技术的进步,人们对地球的研究范围,已经从隧道扫描显微镜和离子探针的原子尺度到全球地震台网和轨道卫星所提供的数据获得全球图像。从地表的地质实地调查和标本采集,飞机和卫星对地面的遥感监测,大陆和海洋的超深钻探等,为地球科学的全球观研究提供了基础资料,与此相适应,80 年代起一系列大型国际地球科学合作研究计划的推出,如国际岩石圈计划(ILP)、深海钻探计划(DSDP)/大洋钻探计划(ODP)、世界气候计划(WCP)、国际地圈生物圈计划(IGBP)等,已形成了对地球的全球立体研究网络。

地球科学的特点决定了地球科学具有一些独特的研究方法,并且随着科学技术的发展,地球科学的研究方法不断得到补充和推进。目前,最常见的方法有:

- (1) 野外调查。通过野外实地观察,获取第一手原始资料。
- (2) 仪器观测。了解地球各种物理化学性质、静态特征和动态变化,为科学分析、推理和研究提供依据。
- (3) 实验室分析、测试和科学实验。取得各种样品或标本,经过实验分析和测试获取

其物质成分、结构构造、物理化学性质等方面的定性资料和定量资料,并通过科学的实验分析,推断其形成、演变过程和发展趋势等。

(4) 历史比较法。这是地质学最基本的方法,即根据现今地表发生的各种地质过程及其物质记录,研究地质历史时期的古环境变化。这种将今论古的方法,以观察研究现代地质作用过程和结果为基础,再将地史时期地质作用结果与之比较,从而推断昔日的地质作用。如岩石中有珊瑚化石,可推断这些岩石形成于浅海环境等。以此类推,人们也可以运用“将古论今”的方法,根据地质和人类历史中发生过的地球环境和岩石圈演变过程来预测地球的未来趋势。这种方法也普遍应用到区域地理学、区域地质学、天文地质学和天气预报、灾害预测等研究领域。例如,现在月球表面保存的  $38 \times 10^8 \text{a} \sim 46 \times 10^8 \text{a}$  ( $10^8 \text{a}$ , 亿年) 前星球演化记录,是了解地球早期演化史的重要依据;根据自然灾害与天文现象周期的对应关系开展预报,也日益引起人们重视。

(5) 3S(GPS、GIS、RS)技术及电子计算机技术应用。地球科学与其他许多领域一样,由于大量基础资料的积累,正经历着数据处理和计算方法的革命。大型计算机工具的应用以及地球科学各种信息系统和数据库的建立,已经使地球科学从以往的定性静态描述转向以过程为目标的精确定量的动力学研究。例如,国际地圈生物圈计划(IGBP)的两个支撑计划——数据与信息系统(DIS)和全球变化的分析研究和培训系统(START)等,都是地球数据信息系统的建立和使用,这些将为揭示全球变化的形成机理,洞察重要的地球系统过程本质和预测未来全球变化趋势发挥重要的作用。

地球科学研究的程序通常是:①资料收集;②归纳、分析和推论;③推论的验证。

### 三、研究地球科学的意义

地球科学是在人类实践和应用中逐渐发展起来的,对其研究具有重要的理论和实际意义。

#### (一) 理论意义

当代自然科学一些重大理论问题的最终解决离不开地球科学的研究,如天体演化、生命的起源、克隆羊、生命大爆炸等。

#### (二) 实际意义

地球科学的实际应用是巨大的、多方位的,主要体现在:

(1) 寻找、开发、利用自然资源。如李四光发现大庆油田,张伯声发现河南巩县小关铝矿、平顶山煤矿,等等。

(2) 预测预报各类自然灾害。所有自然灾害的起因都与地球不同圈层之间的相互作用有关。通过地球科学的深入研究,可查明致灾原因、成灾机理,预测预报和防治各类自然灾害,如地震、地裂缝、滑坡、沙漠化、厄尔尼诺现象、拉尼娜现象等。

(3) 地球上的生态环境已濒临危险的边缘,如温室效应、大气和水资源污染等。加强地球表层的全球变化趋势研究与预测,改善自然环境,已成为地球系统科学的研究重点。

### 四、地球科学的发展

地球科学是一门既古老又年轻的学科,它的发展大致有三个阶段。

#### (一) 古代地球科学萌芽与积累阶段(17世纪以前)

这一阶段代表性的事件和人物有:中国的《禹贡》《山海经》《管子》;大禹治水三过家门而不入;东汉科学家张衡(公元132)发明了地震仪;南北朝地质学家郦道元(公元512—518)

著《水经注》；宋朝沈括(1031—1095)所著《梦溪笔谈》；明朝徐宏祖(1586—1641)著《徐霞客游记》，明朝宋应星(1587—1661)著《天工开物》；古希腊学者毕达哥拉斯(公元前571—497)，亚里士多德(公元前384—342)等对火山喷发、地震和尼罗河三角洲的形成观察和解释；1519年葡萄牙探险家麦哲伦(Magellan)首次环球旅行。第一个地球仪于1492年在德国的纽伦堡出现，这些古人的努力使地球科学知识得到了不断积累。

### (二) 地球科学创立与初步发展(17—19世纪)

这一阶段代表性的事件和人物有：意大利物理学家和天文学家伽利略(1593)温度表的发明；物理学家和数学家托里拆利(1643)气压表的发明，以致气象观测站的建立。随着近代工业的发展，对各种矿产资源的开采，使地质知识和资料迅速积累，形成了系统的地质学理论研究方法，地质学作为一门独立的学科诞生了。在这一过程中，地质学界产生以德国魏尔纳(A. G. Werher)为代表的水成论和以美国郝屯(Hutton)为代表的火成论之争，以法国拉马克(Lamarck)、英国莱伊尔(Lyell)为代表的均变论与以法国居维叶(D. G. Cuvier)为代表的灾变论之争；直到莱伊尔的《地质学原理》著作问世，确定了地质科学的概念，总结了地质科学的研究方法，初步完成了地质科学的体系。

### (三) 地球科学革命与全面发展(20世纪至今)

20世纪现代地球科学的发展，新理论不断涌现。其中，影响较深远的有：固定论与活动论、垂直运动与水平运动、槽台说、大陆漂移、海底扩张、板块构造等；我国五大构造地质学派——张伯声的“波浪状镶嵌说”，李四光的“地质力学”，黄汲清的“多旋回说”，陈国达的“地洼说”，张文佑的“断块说”等。与此同时，随着新技术、新方法不断涌现，如高温高压实验技术、同位素测年技术、电子计算机、电子显微镜(TEM、SEM、EPA)、3S技术等的应用，以及地理学、气象学的不断发展，地球科学得到了全面、飞速的发展，诞生了一些新兴的分支学科，如地球物理学、海洋学、环境地质学、同位素地质学等。

### (四) 地球科学的发展展望

地球科学与人类社会可持续发展关系密切，20世纪人类历史取得多方面伟大成就，科学技术的长足进步、生产力迅速提高。20世纪也是一个充满问题和矛盾的时期，21世纪是人口、经济、环境与资源的矛盾更加尖锐的时代。

人们越来越清楚地认识到：人口爆炸、资源短缺、环境恶化、自然灾害频发等给人类发展提出了严峻的挑战。预计21世纪内世界人口将突破100亿大关，其中94%的增长出现于发展中的国家，人口激增必然导致人类向“地球母亲”索取更多要求。资源短缺在目前仍然是制约发展中国家经济发展的重要因素，也是全人类将要面临的普遍问题。由于地球是人类赖以生存的唯一家园，各种自然资源的获得都与地球的组成、结构、运动、演化息息相关。我国17%国民经济直接来自同能源和矿产相关的产业，但油、气、铜、铁、锰、铬、贵金属及磷、钾盐等矿产后备储量严重不足；人均耕地不及全世界平均水平的三分之一，近一半的城市缺水。所以，我国按人均比例计算是存在资源短缺危机最大的发展中国家；环境保护已成为人类面临的最紧迫任务。20世纪以来科学技术革命的飞速发展，使得人们以无法想象的速度来燃烧、砍伐、挖掘、移动、改变地球资源，从而以空前的规模改变着地球的面貌。例如，20世纪有70%热带雨林的毁灭。据近年资料，我国目前80%河流已经受到污染，酸雨分布区已占国土面积40%左右，垃圾占地面积已经超过 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，各种污染造成的经济损失每年高达2000亿元，随着今后城市化趋势的发展，环境问题将更加突出。人们开始认识到：



# 第一章 地球概况

地球人在地球上生存、繁衍了数万年,地球是如此伟大,几乎是茫茫宇宙中唯一孕育高级生命的星体;地球是这样复杂,对它的研究集中了人类最高智慧的新科技手段,所以有“入地比上天还难”之说。地球是宇宙中正在运动和演变的一颗星体。为了对地球和地球科学整体概貌有一个清晰的认识,我们需要了解与地球起源、运动、演化有关的天文背景知识以及地球本身的诸多特性。

## 第一节 宇宙中的地球

大约在  $137 \times 10^8$  a 前,宇宙脱胎于一个极端高温、高密的状态。随着宇宙的膨胀和冷却,逐渐出现了星系、恒星、行星和生命。地球从一大团炙热的气体开始其一生,于  $46 \times 10^8$  a 前形成并开始冷却和收缩,于是有了高山、河流,它的表面蕴涵着地球演化的全部历史。

### 一、宇宙

古人称“四方上下曰宇,古往今来曰宙”。宇宙是无限、永恒、不断运动变化的客观物质世界。“宇”是空间的概念,是无边无际的;“宙”是时间的概念,是无始无终的;宇宙是无限的空间和时间的统一体。

#### (一) 宇宙中的天体和物质

##### 1. 恒星

恒星是由炽热气体组成的、自身能够发光的球形或类似球形的天体,是宇宙中最大的天体。其主要特征是:宇宙中最重要的天体,集中了宇宙中相当大的能量;构成恒星的主要气体为氢,其次为氦,其他元素很少;具有巨大质量,这也是恒星能发光的基本原因;体积相差悬殊,小的直径 1 000 km,比月球还小,大者是太阳的 2 000 倍;平均密度相差悬殊;恒星距离地球都非常遥远,太阳是距离地球最近的恒星;恒星一直处于运动中。

##### 2. 星际物质

宇宙中各天体之间存在着巨大的空间——星际空间。弥漫于星际空间内极其稀薄的物质称为星际物质,主要包括星际气体和星际尘埃两种星际物质。星际物质很稀薄。

##### 3. 星际云

星际云是星际物质的密集形式。

##### 4. 星云

星云是星际物质更加庞大和更加密集的形式。

##### 5. 天体系统

宇宙中物质是运动的,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。如太阳系是由太阳、行星及其卫星、小行星、彗星、流星体和行星际物质构成的天体系统,太

阳是太阳系的中心天体。

## (二) 宇宙的起源

20 世纪,有两种“宇宙模型”比较有影响。一是稳态理论,一是大爆炸理论。20 年代后期,爱德温·哈勃(Edwin Hubble)发现了红移现象,说明宇宙正在膨胀。60 年代中期,阿尔诺·彭齐亚斯(Arno Penzias)和罗伯特·威尔逊(Robert Wilson)发现了“宇宙微波背景辐射”。这两个发现给大爆炸理论以有力的支持。现在,大爆炸理论已广泛被人们所接受。

大爆炸理论认为,宇宙起源于一个单独的无维度的点,即一个在空间上和时间上都无尺度但却包含了宇宙全部物质的质点。至少是在  $120 \times 10^8 \text{ a} \sim 150 \times 10^8 \text{ a}$  以前,宇宙及空间本身由这个点爆炸形成。

## 二、恒星的诞生演化

在星际空间普遍存在着极其稀薄的物质,主要由气体和尘埃构成。它们的温度约为  $10 \text{ K} \sim 100 \text{ K}$ ,密度约为  $10^{-24} \text{ g/cm}^3 \sim 10^{-23} \text{ g/cm}^3$ ,相当于  $1 \text{ cm}^3$  中有  $1 \sim 10$  个氢原子。星际物质在空间的分布并不是均匀的,通常是成块地出现,形成弥漫的星云。星云里  $3/4$  质量的物质是氢,处于电中性或电离态,其余约  $1/4$  是氦以及极少数比氦更重的元素。在星云的某些区域还存在气态化合物分子,如氢分子、一氧化碳分子等。如果星云里包含的物质足够多,那么它在动力学上就是不稳定的。在外界扰动的影响下,星云会向内收缩并分裂成较小的团块,经过多次的分裂和收缩,逐渐在团块中心形成了致密的核。当核区的温度升高到氢核聚变反应可以进行时,一颗新恒星就诞生了(图 1-1)。

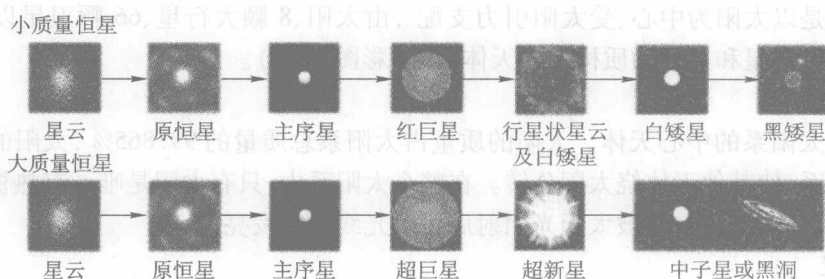


图 1-1 恒星的演化历程

当星际物质凝聚成恒星后,恒星的演化就决定于其内部的核反应过程,在稳定状态下,恒星向内的万有引力和向外的运动压力及辐射压达到平衡。但在某些情况下,这个平衡条件会受到破坏,在不同演化阶段的恒星有不同的观测表现。

## 三、太阳系

太阳系形成至今至少有  $46 \times 10^8 \text{ a}$ ,这一点已被公认。然而,太阳系的成因尚在探讨中。太阳系由来至今已有 50 多种不同的学说或假设,但就其实质而言,大致可归结为两大类——灾变说和星云说。灾变说的实质是认为太阳系大体是在一次突然的巨大的剧变中产生的,太阳先于行星和卫星形成;星云说则主张整个太阳系包括太阳都是由同一块星云物质凝聚而成的(图 1-2)。从最近半个世纪的发展看来,星云说取得了很大的进展,占据了主导地位。

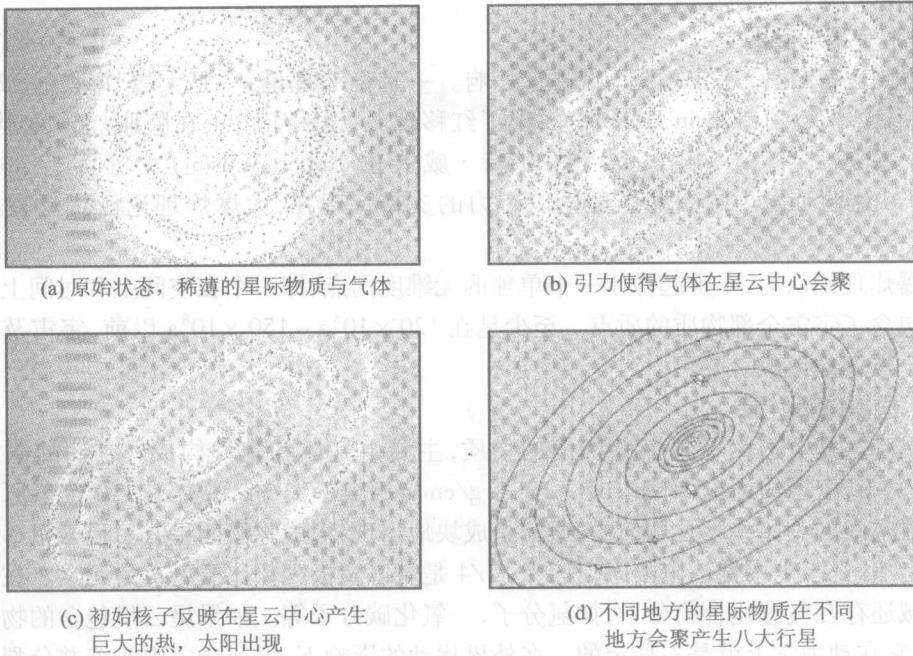


图 1-2 太阳系的形成

太阳系是以太阳为中心、受太阳引力支配，由太阳、8 颗大行星、66 颗卫星以及无数的小行星、彗星、陨星和星际物质构成的天体系统(彩图 1-1)。

### 1. 太阳

太阳是太阳系的中心天体。太阳的质量占太阳系总质量的 99.865%，太阳的引力控制了整个太阳系，使其他天体绕太阳公转。在整个太阳系中，只有太阳是唯一有热核能源辐射的发光恒星，其他天体主要被太阳光照射后反射光线才能发亮。

### 2. 行星

行星是太阳系的主要成员，太阳系是一个由八大行星组成的“行星系”。

行星由太阳起往外的顺序是：水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星。离太阳较近的水星、金星、地球及火星称为类地行星。宇宙飞船对它们都进行了探测，还曾在火星与金星上着陆，获得了重要成果。它们的共同特征是密度大(大于  $3.0 \text{ g/cm}^3$ )，体积小，自转慢，卫星少，内部成分主要为硅酸盐，具有固体外壳。离太阳较远的木星、土星、天王星、海王星称为类木行星。宇宙飞船也都对它们进行了探测，但未曾着陆(图 1-3、图 1-4)。它们都有很厚的大气圈，其表面特征很难了解，一般推断，它们都具有与类地行星相似的固体内核。

### 3. 小行星

除行星外，在火星与木星之间有许多小行星(由岩石组成的不规则的小星体)绕日公转。推测它们可能是由位置介于火星与木星之间的某一颗行星碎裂而成的，或者是一些未能聚积成为统一行星的石质碎块。小行星的直径大多小于  $60 \text{ km} \sim 70 \text{ km}$ ，最大的一颗称为谷神星，直径约  $760 \text{ km}$ 。估计小行星总数多达几十万颗。有的轨道离地球很近，但

总质量只有地球的万分之四。小行星除质量和体积微小外,相互之间物质成分的差异也很明显。

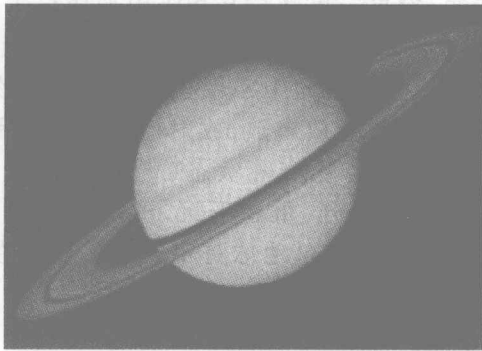


图 1-3 宇航船上拍摄的土星



图 1-4 木星的卫星上的火山喷发

#### 4. 卫星

卫星是围绕行星运行的天体。八大行星共有卫星 60 个,除水星和金星外,其他行星都有卫星环绕。不同卫星的体积和质量相差悬殊,半径大于 1 000 km 的卫星有 7 个,地球的卫星月球是其中之一。

#### 5. 彗星

彗星以其特殊的明亮长尾和周期性地出现在夜空而引人注目。迄今已知的彗星有 1 600 多颗,每年能观测到的彗星约 10 颗,其中新发现的约占 50%。彗星的轨道有抛物线、双曲线和椭圆三种类型,只有椭圆轨道的彗星才能绕太阳公转,前两种一旦出现后不再回到太阳系。彗星的质量和密度很小,当远离太阳时只是一个由水、氨、甲烷等冻结的冰块和夹杂许多固体尘埃粒子的“脏雪球”,当接近太阳时,彗星在太阳辐射作用下分解成彗头和彗尾,状如扫帚。彗尾部分物质极稀薄,密度只有地球大气的  $1/10^{13}$ 。1910 年哈雷彗星的彗尾曾“扫”到地球,地球上毫无异常现象。

#### 6. 流星和陨石

星际空间中的尘粒和固体块,以很高速度(72 km/s ~ 11 km/s)闯入地球大气圈,同大气摩擦燃烧而产生的光迹称为流星。未燃烧尽的流星体坠落到地面,就是陨石。陨石的物质组成可区分为石陨石和铁陨石两大类,是人类直接获取并详细研究太阳系早期状态物质组成的宝贵材料。1976 年 3 月 8 日降落在吉林市郊的陨石群,最大一块质量 1 770 kg,是世界上已知最重的石陨石。

#### 7. 星际物质

太阳系内密度分布不匀,在地球轨道附近的平均密度为 5 个正离子加 5 个电子每立方厘米。

人类的家园地球是太阳的八大行星之一。

### 四、地球起源

地球的起源与演化一直是哲学家和自然科学家长期探讨和争论的问题。随着科学技术的飞速发展,人们的眼界越来越开阔,掌握的证据越来越多,对地球的认识也更加深入。



拉普拉斯设想太阳系是炽热气体冷凝而成,星云物质冷却收缩的过程就是地球形成过程。天文探测和地质研究结果不支持这种假设,认为形成太阳系的星云不是热的,而是冷的气体和尘埃。目前较为一致的看法:冷星云里微粒互相吸引形成星子;星子互相吸引,大吃小,不断吸积,逐渐增大,形成尘埃集合体;温度高、轻者(气体)跑掉,重者(尘埃)以固体为主,留在地球表面,受万有引力作用向中心聚积,体积缩小,物质密度越来越大;尘埃向中心集中,体积收缩,压力加大,会放出热,放射性元素蜕变和陨石撞击也会放出热,因此局部或一个时期的地球是高温熔融状态(尤其在太古宙,  $46 \times 10^8$  a);收缩停止,热者上升,又发生膨胀,轻者上升,重者下沉,形成了地核、地幔、地壳和水圈、大气圈等内部、外部圈层构造。总之,行星地球是宇宙中的尘埃在引力的作用下逐渐形成的。

### 五、地球的年龄

地球上已知最老的岩石(石英岩,一种由石英颗粒组成的沉积岩,后来遭受过温度、压力条件变化)出露于澳大利亚西南部,根据其中所含矿物(锆石)的形成年龄测定,证明已有  $41 \times 10^8$  a ~  $42 \times 10^8$  a 历史。根据地质学研究,这种岩石和矿物只能来自地壳的硅铝质部分,而且必须经过地表水流的搬运、分选和沉积。所以,我们可以据此做出推论,地球的圈层分异在距今  $42 \times 10^8$  a 前已经完成。

地质学领域较精确的测定年龄方法,主要根据放射性元素的衰(蜕)变原理:放射性元素的原子不稳定,必然衰变为其他原子(如<sup>238</sup>U衰变为<sup>206</sup>Pb等),而且衰变速率不受外界温度压力条件变化影响(如<sup>238</sup>U经过  $45 \times 10^8$  a 后其一半原子数衰变为<sup>206</sup>Pb,故称为半衰期)(图1-5)。我们只需在岩石中测出蜕变前后元素的含量,就可以获得母体岩石形成的年龄。

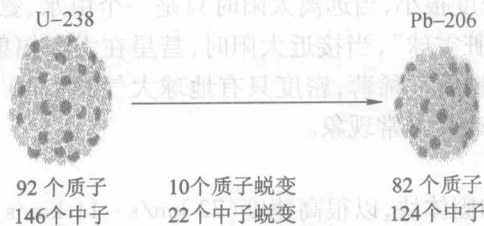


图 1-5 铀的放射性同位素 U-238

不同放射性元素半衰期的长短有很大差异,其测年的精度也存在重要区别(表1-1)。因此,要根据研究对象实际情况选择测试物质,采用合适的方法。例如,时代很新的湖南长沙马王堆考古发掘中,西汉初期的棺木保存完好,可以用<sup>14</sup>C法测得木材的绝对年龄数值与古墓内的文史资料相当符合。至于地球漫长演化史中保存的物质记录(岩石和矿物),只能采用<sup>238</sup>U<sup>206</sup>Pb、<sup>87</sup>Rb <sup>87</sup>Sr等方法,精度误差允许达到几百万年。这是因为实际操作中包含复杂的技术因素,如测试手段的误差、测年方法使用条件的偏离、野外采样不当(标本已受风化影响,不够新鲜)、地质关系观察错误等。这种利用放射性元素半衰期测年已发展为地质学中一门独立的分支学科——同位素年代学。