




面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

环境地质学

朱大奎 王 颖 陈 方 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

面 作 课程教 
Textbook series for 21st Century

环境地质学

朱大奎 王 颖 陈 方 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材和教育部理科地理学“九五”规划教材。与以往教材所不同的是,本书强调地质与自然环境的密切关系,重视结合中国的地质环境问题。本书应用地质学与地理学原理,从地质演变过程、合理利用地质资源、防治地质灾害、使人类有一适应的能持续发展的生存环境这一角度,阐述了环境地质学的基本知识、基本理论和基本技能。

本书可作为高等学校地理、地质类专业的教科书,也可供其它专业选用和社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

环境地质学/朱大奎等编著. —北京:高等教育出版社,2000(2001 重印)

ISBN 7-04-008624-7

I. 环… II. 朱… III. 环境地质学 IV. X141

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 18126 号

环境地质学

朱大奎 王颖 陈方 编著

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16

版 次 2000 年 7 月第 1 版

印 张 24.75

印 次 2001 年 7 月第 2 次印刷

字 数 450 000

定 价 22.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

环境地质学是研究人类活动和地质环境相互作用的学科,是地质学的一个分支,也是环境科学一个组成部分。环境地质学研究自然和人为引起的地质环境问题,像自然界的火山、地震、山崩、泥石流等自然灾害和人为引起的工程建设和资源开发引起的地质问题与环境问题、城市建设与管理中的地质问题。人们生活在地球上,许多生产、生活活动均与地质环境有关,这已成为许多人的共识。

本书是作者在南京大学为地理学各专业讲授环境地质学课程的讲稿基础上编写成的。最近20年来,大学地理学各专业注意经济发展的热点,自然地理学专业中侧重自然资源开发、土地利用、房地产开发;人文地理学中热衷于城市规划、旅游管理等。在课程安排上与地理学密切相关的地质学课程越来越少。学生中有忽视地质学的倾向,青年地理工作者也常有缺乏地质学的基本训练。这对学科的发展及人才成长均有许多影响。

为此,作者一直倡导在地理学各专业教学中注意保持地质学的基础训练。而环境地质学是地质学与地理学联系的纽带,无论在基本原理、研究方法与应用上均能起相互补充促进的作用。这方面能力的加强,对青年地理学者今后工作是会有许多帮助的。我国老一代地理学家,如南京大学任美镔教授、宋家泰教授、中国科学院吴传钧教授等,无论从事自然地理或人文地理工作,均有深厚良好的地质学基础,在他们的著作中,科研成果中均有清晰的反映。

本书前二名作者,20世纪50年代初就读于地理系,当时专业的地理学课程较少,而研读了许多地质学课程,同时培养了对地质学及有关分支学科的浓厚兴趣。在以后的工作中,无论是区域地理的综合考察研究,或专门的地貌学、第四纪地质学、海岸海洋科学等的研究与应用开发工作中,均十分注重地质学基础理论与方法的应用,深感在工作中得益甚多。陈方,80年代初毕业于地理系,后在福建师范大学讲授地貌学、地质学课程,连续十余年。在南京大学攻读博士学位期间,主攻海岸演变、海岸带开发,许多研究工作都同环境地质密切相关。

1993年,作者等在加拿大麦克马斯特大学书店偶然读到C. W. Montgomery的环境地质学,发现该书的观点及内容安排与作者看法十分吻合,因此购买了此书,作为在地理学各专业中讲授环境地质学的蓝本;以后又在欧洲一些大学书店买得强调人类活动与地质作用关系的环境地质学书籍。本书即以这些当前国外

大学流行的教材为基础,结合我国当前的文献成果,以及作者等自己的科学研究经历编写而成。

本书取材于各个方面,而书中自有统一的观点和内容,即作者一贯主张的:地球是一个统一的大系统,地理科学与地质科学有许多方面是密切相关的,特别是环境地质学,需要来自这二方面的学者去促进它的发展。现在每年有数千名大学生进入综合大学、师范大学地理系学习,希望他们中的一部分在学习与工作中能注意到与地质学的结合。环境地质学为地理工作者提供许多有用的帮助,为地理学家在理论研究、国家建设方面,提供了一些新的领域;而地理学家的工作也在帮助促进环境地质学的理论与应用上的发展。

本书编写分工如下:王颖教授撰写 1、6、7、9 章,陈方博士撰写 2、3、4、5、8 章,朱大奎教授拟订了本书内容大纲,撰写 3 章及 10~16 章,并对全书稿做了补充修改。另外,黄巧华博士、贾建军硕士在南京大学攻读学位期间,分别担任该课程的助教。黄巧华帮助提供 11、12 章的讲稿,贾建军帮助提供 13、14 章的讲稿。施晓冬工程师打印 1~8 章并协助校对全部的打印稿。所以这是一个集体工作的成果。我们特别感谢高等教育出版社的徐丽萍先生,她一年多来一直鼓励督促我们早日完成此书,虽然至今尚未谋面,但她的电话、书信鼓励,热忱的帮助及精心地润饰书稿,使本书得以早日付梓面世。书中不妥之处,欢迎指正。

朱大奎

1999 年 6 月 30 日于南京大学

目 录

第 1 章 总论	(1)
一、环境地质学研究的对象、内容、发展历史 与研究方法	(1)
二、21 世纪议程与地球科学	(3)
三、地球的演化	(6)
四、人口、资源与自然环境	(11)
参考文献	(15)
第 2 章 地壳的构成——矿物与岩石	(17)
一、元素	(17)
二、矿物	(19)
三、岩石	(23)
参考文献	(36)
第 3 章 板块构造	(37)
一、大陆漂移	(37)
二、板块构造原理	(39)
三、板块构造运动的证据	(42)
四、板块边界类型	(47)
五、板块构造的驱动力与速度	(50)
参考文献	(52)
第 4 章 地震	(53)
一、地震的基本理论	(53)
二、地震波、地震仪、震中定位	(58)
三、地震的震级和烈度	(64)
四、地震的分布	(67)
五、地震灾害及预报	(71)
六、地震意识与公众反应	(78)
参考文献	(81)
第 5 章 火山	(83)
一、火山现象	(83)
二、火山喷发物	(85)

	三、火山的形态	(89)
	四、岩浆类型与火山的分布	(93)
	五、火山灾害	(96)
	六、火山灾害的预报与公众反应	(105)
	参考文献	(108)
第 6 章	河流与洪水	(109)
	一、水循环	(109)
	二、河流及其特征	(110)
	三、冲积平原	(114)
	四、洪水与洪水灾害	(115)
	五、防洪战略与对策	(126)
	参考文献	(130)
第 7 章	海岸环境	(131)
	一、海岸带与海岸海洋	(131)
	二、海岸动力作用	(136)
	三、海岸侵蚀作用及其形态	(146)
	四、海岸堆积作用及其形态	(152)
	五、海岸环境灾害及其防治	(172)
	参考文献	(176)
第 8 章	块体运动	(178)
	一、块体运动的力学分析	(178)
	二、块体运动的条件	(182)
	三、块体运动类型	(191)
	四、块体运动灾害	(195)
	五、块体运动的预报	(199)
	六、块体运动灾害的防治	(202)
	参考文献	(206)
第 9 章	水环境与水资源	(207)
	一、地球上的水资源	(207)
	二、地下水体	(209)
	三、喀斯特及喀斯特水	(215)
	四、水的质量	(216)
	五、大气水、地表水与地下水的补给循环	(220)
	六、水资源的合理利用与保护	(224)
	参考文献	(234)
第 10 章	土壤资源	(235)

一、土壤的形成	(235)
二、土壤的类型	(237)
三、土壤侵蚀	(242)
四、减少土壤侵蚀的对策	(246)
参考文献	(248)
第 11 章 矿物资源	(249)
一、矿床	(249)
二、矿床类型	(251)
三、矿物资源	(256)
四、矿物资源的消耗与储备	(257)
五、将来的矿物资源	(260)
六、采矿对环境的影响	(266)
参考文献	(267)
第 12 章 能源	(268)
一、石油与天然气	(270)
二、煤	(279)
三、油页岩与焦油砂	(284)
四、核电	(285)
五、水电	(293)
六、其它能源	(296)
参考文献	(303)
第 13 章 大气污染	(305)
一、大气污染的现象与性质	(305)
二、大气污染的类型和来源	(307)
三、酸雨	(315)
四、大气污染与天气	(318)
五、大气污染的控制	(321)
参考文献	(326)
第 14 章 水污染	(328)
一、基本概念	(328)
二、工业污染	(333)
三、农业污染	(338)
四、水污染的处理	(341)
参考文献	(349)
第 15 章 废物处理	(350)
一、固体废物	(350)

二、液体废物处理	(358)
三、放射性废料	(363)
参考文献	(372)
第 16 章 土地利用、城市规划与环境地质	(373)
一、土地利用与环境地质	(373)
二、城市规划与环境地质	(379)
参考文献	(387)

第1章 总论

一、环境地质学研究的对象、内容、 发展历史与研究方法

环境地质学属地球科学,是应用地质学和地理学原理,合理利用地质资源,改善人类生存环境的一门学科,是一门介于地质学、地理学与环境科学之间的科学。

人类生存于地球上,生命活动及生活发展与地球关系至为密切,地球科学是研究地球发展变化自然规律与人类生存发展活动相关的科学。

地球是几个圈层组成的开放体系:大气圈、水圈、生物圈、岩石圈及地幔、地核等。各圈层结构、活动规律与效应各有特征,但亦互为动力,彼此制约,是不能截然分开的相关体系。例如地幔活动影响到海陆分布与变化,气候的差异又影响到生物及人类的生活。人类社会的发展对大气圈、水圈、生物圈以及岩石圈也形成巨大影响,当代的地球科学研究反映着开放体系以及圈层的相互影响。

人类生存依赖自然界。基本的需求是新鲜的空气、洁净的淡水,利用土地获取食物,开发矿产及生物资源供人类的各種需求。但人类生活动也带给自然界消极的影响,使地球面临着接近人类生活生态极限承载的危险;保护人类免遭太阳有害辐射的臭氧层正在变薄,在南极上空已形成巨大空洞;严重的土壤侵蚀引起肥力下降,粮食生产潜力减小;大面积毁林引起了荒漠化过程,加剧了生物种类的消失,削弱了大气圈自净能力;海洋动物被滥捕而锐减,海洋遭受污染而将达到其所承受的极限;有害废物排放加剧了对陆地、海洋与大气的污染,引起了全球性的健康问题;环境恶化严重地破坏了全球生态平衡。20世纪后期人口激增,贫穷、饥饿、疾病和文盲同样威胁到人类社会。资源、环境、生存发展是当代面临的严峻挑

战,处理人与地球之间的和谐关系是地球科学的使命和发展机遇。增强人类依存地球的意识,合理开发利用自然资源,将是促进人类生存环境持续发展的重要途径。

地质学研究地球的上部层,即地壳(及上地幔),研究组成地壳的物质,地壳的地质构造以及地球的历史。环境地质学是应用地质学和地理学(自然地理学与人文地理学)的原理,从地质演变过程,分析地质环境、合理利用地质资源、防治地质灾害,使人类有一适宜的可持续发展的生存环境。

环境地质学是 20 世纪 60 年代才发展起来的年轻学科,但环境地质思想出现得很早,我国古代就用矿物作为治病的药物,明代李时珍已将矿物药物归纳为 253 种,其中就有赤铁矿、磁铁矿、黄铁矿、雄黄、滑石、蛇纹石、明矾石、钟乳石、芒硝、硼砂等等。在医书《素问·异法方宜论》中,研究了地质地理环境、矿物与人类健康的关系。书中指出,各地的地理环境、地形、水文、气候条件的不同,各地居民有着不同的生活习惯和不同的健康状况。中国古代许多治理山河的工程,例如开凿大运河,修筑长城,兴建钱塘江大海堤等,都涉及到环境地质。我国 50 年代以来,大规模的经济建设、资源开发工作中,也有许多涉及环境地质的领域。例如,黄河治理所兴建的一系列水利工程,黄土高原水土流失的治理,长江三峡大坝工程的许多前期研究,“南水北调”工程的各种勘测研究,以及各种地下水资源的开发,地震、滑坡、泥石流等自然灾害的防治等等。可以说 50 年代以来,我国资源开发与建设工作中,进行了大量有关环境地质的工作,积累了丰富的经验及理论材料。但当时还没有环境地质学这一术语。

1964 年美国 J. E. Hackett 首先提出环境地质学术语,他认为环境地质学是运用地质学原理,改善人类的生存环境,有效地利用矿产资源。到 1969 年美国的 P. H. Moser 给出环境地质学定义:“环境地质学是水文地质学、工程地质学、地球物理学及有关学科的原理,研究人类周围环境,更有效地利用天然资源的一门学科”。至此,环境地质学逐渐成熟,成为协调人类活动与自然环境与资源的关系,合理利用自然资源,防治自然灾害,保护自然环境,在人类生产生活活动中不可缺少的重要作用的一门学科。

最近 20 年来,环境地质学已有长足的发展。其研究内容已扩展为自然资源的开发、区域环境保护、自然灾害的防治(主要有地震、滑坡泥石流、洪水、风暴、海啸、火山喷发等)、废弃物处理、军事活动的地质学研究,以及医学环境地质问题,环境法规等等。在国外及我国,环境地质学已发展成为同国家建设与国民生活中密切相关,不可缺少的科学。

环境地质学的研究方法,除了地质学基本的研究方法,野外观察、实验、室内分析模拟等以外,更强调将地质演变与周围环境(大气、水圈、生物圈、人类活动)的联系,综合分析,查明自然环境对地质过程的影响,预测其演变趋势及研究防

治措施,这些主要是运用地理学的原理及方法。这里提出二种有用的方法。

1. 区域对比及区域模式的研究

环境演变是长期的,难以在短时期内重现,而不同区域的自然演变及受人类活动影响的演变,具有各自演变的模式及阶段。人们可以借助已被研究了解的区域,得到不同类型区域发展演化的过程、规律、模式,作为研究区域的参考与依据。

2. 地理信息系统技术应用

地理信息系统(Geographic Information System,简称 GIS)是综合处理分析空间数据的计算机系统,是按照地理坐标系统组织的数据所表示的空间信息,所以地理信息系统又称空间信息系统,它的特点是研究处理空间实体,通过对空间实体的空间位置与空间关系来进行的。它用于一个区域内各项环境资源现象过程的分析管理,具有区域内环境资源信息资源共享、综合分析、辅助决策等特点,成为环境资源综合评价、规划、管理、决策的现代技术手段。有人将这一技术看作静态的、纯地理学的,其实这是一种误解。GIS适用于具有空间分布特点的地球科学,社会现象有关学科,它在整个地球科学中,包括环境地质学在内,有非常广阔的应用前景。

最近又提出了“数字地球”的新概念。这是一种能贮存巨量的地理信息,能对地球及其各部分进行高分辨、全方位、多角度描述的技术与方法,也可以说它是遥感技术,地理信息系统技术的更高层次的发展。陆地资源卫星每两星期对整个地球表面完成一次扫描,近 20 年来已收集了巨量的地球环境资源信息,而目前被利用的仅是很小一部分,巨量的地理信息还只是贮存着。数字地球技术将从地球整体、到某一区域、到某一特定要素,进行全方位分析、使用,为系统地使用巨量地理信息成为可能。它利用高度发达的计算机技术,能够贮存超大规模的地理信息,模拟地球上复杂的自然现象。数字地球具有极高的分辨率,能分辨地表 1 m 大小的物体。它能通过利用地理信息系统与卫星遥感图像,分析地表地形、土壤、大气、降水等信息,以监控地形、气候、植被等环境变化,并据以制定相应对策。因此,“数字地球”技术的兴起,将为人们对地球环境的研究提供无与伦比的新技术。

二、21 世纪议程与地球科学

1992 年 6 月在巴西里约热内卢召开的联合国“环境与发展”大会,占全球人

口98%以上的世界各国首脑聚会,共商“地球环境、资源与人类持续发展”的大事。提出了“人类要生存,地球要拯救,环境与发展必须协调”的口号,使人类认识到地球资源是有限的,人类只有一个地球,必须善待地球。制定了《21世纪议程》(21 Agende,21世纪政府、工业界和全社会的议程),全面规划指导人类正确处理与地球的关系,规范人类的生息发展活动,必须制约于地球环境与资源能够“容忍”的范围内。协调人类与自然的关系以期达到“既满足当代人需要,又不危害后代人满足自身需要能力发展的持续性发展”。《议程》的要点与地球科学的使命是吻合的,顺理成章地被接受为地球科学发展进步的纲领。

《议程》的中心议题与基本目标是,使人类获得持续生存的方式,当前问题在于世界人口急剧增长,每年近一亿的新生人口,给地球生态系统带来巨大的冲击与不堪负担的重压。出路在于协调人类生活和生产的整体水平和方式,并使其与地球的承载力相适应。“人口与地球承载力的关系”是地理学研究的传统课题,今后更需要从新的认识水平加强这方面的内容。

《议程》提出了许多与地球科学密切相关的内容,如:

(1) 自然资源的合理利用。地球的资源潜力是有限度的,因此要合理开发,贯彻保护非再生资源与持续利用的战略,这将是地球科学着重研究的课题。它主要涉及:①淡水资源保护,水资源的承载力分析,水资源合理利用,防止污染及污水处理等。地球科学研究应按地球圈层学科的划分,将降水、地表水、地下水的自然过程,水循环、水资源与淡水管理等进行一体化研究。②陆地资源合理利用,陆地资源有限地开发利用将是《议程》重要内容之一,包括平原、山地、荒漠等各类生态环境,地表土壤发育,地貌过程,岩石圈结构,地球内动力,矿产的形成分布等。中国是多山的国家,山地环境资源的合理开发利用至关重要。山岳是由各类斜坡构成的,是物质不稳定、生态差异变化迅速的地区。根据山地环境的特点,了解其环境演变过程规律,合理规划利用,使其与人类社会经济活动协调发展。③能源,合理利用非再生能源——煤、石油、天然气,减少其燃烧利用中造成的环境污染。同时,加强开发可再生的对环境无害的能源系统——太阳能、风能、水能、潮汐能、波浪能等。研究这些地球自然环境要素的新技术,必将成为地球科学应用发展的新增长点。④森林、草地、湿地资源,具有涵养水土,调节气候,抑制沙漠化,保持生物多样性等的作用,是地球科学的传统研究内容。在当前对《议程》研究中,宜从人类生存发展存在的自然危机的新高度,进行研讨并给出协调发展规划。

(2) 大气与海洋的利用。大气与海洋是流动的,贯通全球的自然环境,也是全球共同的资源,海洋巨大的水体是生命的摇篮,风雨的故乡,是人类生存发展最大的潜在资源宝库——食物、土地、能源、矿藏。1982年通过并于1994年

11 月起实施的海洋法,规定了划归沿岸国管辖的海域面积达 $1.3 \times 10^8 \text{ km}^2$,与全球陆地面积相近($1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$)。按国际海洋法,在 200 n mile 专属经济区内,如果丧失一个具有人类居住条件的岛屿,就会丧失 $43 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的管辖海域,丧失 $43 \times 10^4 \text{ km}^2$ 海域内海洋资源的所有权。因此,在 21 世纪,海洋意识、海洋国土意识就非常重要。人类活动引起气候变暖,海平面上升,后者促使风暴潮、灾害天气频繁发生,海岸低地沉溺等一系列问题。世界海洋捕捞量已接近其最高限度—— $1 \times 10^8 \text{ t}$ 。公海倾废、油船泻溢、河流排污、大气携运污染物于海洋等等,均已相当严重,将使海洋失去容纳与稀释能力,必然危及大气及降水更新,进一步又反馈给人类。海洋及大气是全球贯通的,与人类生存息息相关。21 世纪是海洋科学世纪已成为发达国家与学术界的共识。

(3) 与人类居住环境有关的生存质量的改善与管理。主要是城镇、乡村的人口膨胀,供水、居住的条件与质量,废物废水的处理,能源交通条件,以及医疗、教育等服务设施。中国现代化的建设过程,已反映出城镇迅猛发展过程,全国城市总数由 1949 年的 168 个增加到 1993 年底的 570 个,城市人口已占全国人口的 32.7%。其国民生产总值占全国的 59%, 利税总额占 77.7%。经济发展快,城市发展变快,现代化、国际化成了中国城市化的新一轮目标。我国的地球科学有个优点,即重视野外实践,将近 50 年来,研究工作主要在边远区域,青藏高原、戈壁沙漠等,但对城市、人口密集区域的研究却相当薄弱,城市、人口密集的区域(也是中国经济发达的区域)成为地质学家、地理学家遗忘的角落。《21 世纪议程》提出了全球范围城乡地区环境与发展战略,为地球科学在城镇与乡村的自然、社会经济及信息等方面的研究提供了目标与纲领。

对化学品的利用、生活废弃物的管理也是人口增长、工业发展、废弃物积聚引起的环境污染与疾病问题的一大原因。发展中国家 80% 的疾病与 1/3 的死亡是由于食物、水和空气的污染造成的。经济上的发展带来的效益常被社会环境质量的下降而抵消。对发展中国家,尤其要注意对生活废弃物的管理,减少废物对环境的污染。这是开发资源,发展经济必须注意到的环境效益问题,它包括了社会重视、技术处理及法规管理等项措施。地球科学应从地球开放体系的角度加以重视,并提出处理废物的正确途径,避免扩散与再污染。

以上阐述可以看到,《议程》为当代地球科学的发展提供了良好的条件与难得的机遇。在这中间,环境地质学可找到自己应有的地位,可以说,《议程》提出的许多重大的纲领性措施,为环境地质学发挥作用提供了广阔的领域。

三、地球的演化

1. 宇宙中的地球

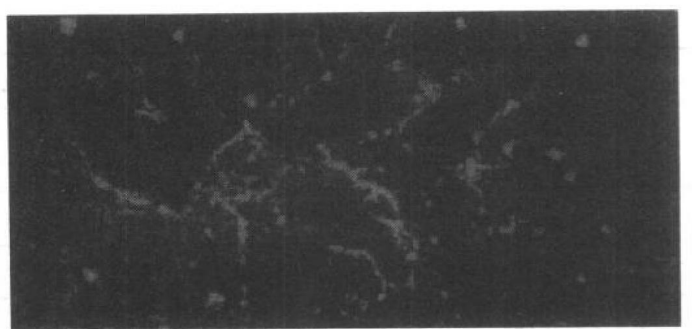
地球是宇宙中的一员。早期的地球是一片带状的星云,在这巨大带状内大量的物质生成并被猛烈地抛开,而穿过一个不断增大的空间。这巨大星云带的年龄,通过推算宇宙明显地开始扩张时间,或通过元素的产生和不同类型星体演化速率的对比研究,多数学者认为是150~200亿年。

星云在不断扩大,其物质在空间的分布是不均匀的。由于重力作用使得局部物质结集,其中有的汇聚到一定的体积与硬度,而结聚体内部的原子释放核能,其能量被隔离包含在结聚体深部,这就形成原始的星体。星体是在演化的,它们的光度在逐渐变化下降,表明其核燃料在燃烧,不断丧失能量和质量。最终,星体将衰败,冷却成黑的小矮星,或者由于质量增加爆发成超新星。星体早期的质量取决于燃烧的速度,有的星体在几十亿年前就已烧尽消亡,有的还正由星云残体及老星体碎片构成,经历了100~200亿年仍停留在早期的阶段。

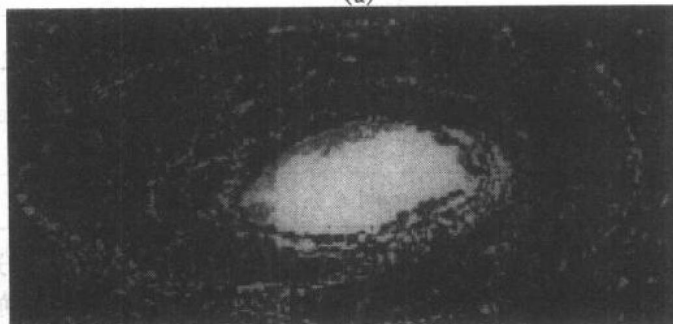
太阳是一个中年星体,处于生成向衰亡的过渡阶段。太阳系形成于50亿年前,它是由气体和尘埃物质构成的云状物,由于来自邻近的超新星爆炸产生的震波,使云状物聚集,形成太阳系的雏形(星云),发展早期的太阳是由宇宙中最多的元素(氢)组成的。这巨大的球体受到压缩,增温和密度增大而产生核反应。这样,从一个气体的球体演化为放射光及其它能量的星体。太阳在消耗其巨大能量燃料演变为冷却的小矮星,还需要再经历50亿年。在原始太阳形成的同时,尘埃围绕太阳运动并各自聚集,遂形成行星(图1-1)。通过岩石年龄测定法测得,陨石及月球上碎块的年龄约为46亿年,因此太阳系形成早于50亿年。

太阳系的行星组成,很大程度上取决于距灼热的太阳的距离。距太阳很近处,因温度太高,最初固体物质无法形成,主要是高温的固体物质——金属铁和一些高熔点的矿物,几乎不含水。距太阳稍远,温度渐低,就具有形成行星的条件。行星形成过程中可包含低温物质,包括一些含结晶水的物质(这些物质使地球上有可能具有液态水)。距太阳更远处,温度太低,原始气体中几乎所有的物质,甚至像甲烷和氨这种在地表常温下为气体的物质均可凝结。

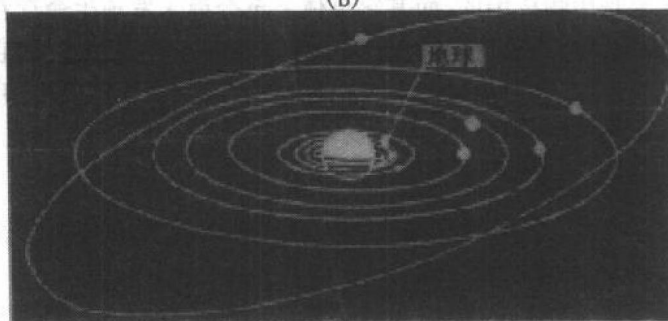
所以,行星是由小块冷凝物质经重力作用相互吸引而集结起来的。大多数发展中的行星的重力场太弱,无法保持气态物质,它们随着早期的太阳流失的物质和能量流而飞逸消失,其中只有质量大的木星和土星例外。它们的质量大到



(a)



(b)



(c)

图 1-1 太阳系的形成

足以捕获云状体中所有的物质,包括最轻的亦是含量最多的氢元素,结果,氦成为木星与土星最主要的构成物,其比例超过太阳和其它恒星。假使土星的质量增加 70 倍,它就可以变成恒星。

太阳系的这些形成过程使各行星的组成互不相同,表 1-1 给出太阳系主要星体的一些基本数据,距太阳较近的行星有较高的金属含量,而距太阳远的行星

表 1-1 太阳系的基本数据

行星	距太阳距离 / 1×10^6 km	质量 /以地球为 1	密度 /水 = 1	赤道直径 /以地球为 1
水星	58	0.055	5.4	0.38
金星	108	0.815	5.2	0.95
地球	150	1	5.5	1.0
火星	228	0.108	3.9	0.53
木星	778	317.9	1.3	11.19
土星	1 427	95.2	0.7	9.41
天王星	2 870	14.6	1.6	4.06
海王星	4 479	17.2	1.65	3.88
冥王星	5 900	0.001 6	1.08	0.23

含较多的冰和气体。假使今后要在行星上开采矿产的话,就要考虑这些差异。行星的化学组成与性质也不同于地球,其成矿过程,矿产与其它资源亦不同于地球,这就需要有别于地球上的一些理论与方法,才能去发现和利用它们。地球上利用的能源主要是生物成因的,而其它星体上至今尚未发现生命存在,即使是金星,它距地球最近,体积、密度与地球相似,但亦与地球有很大差异,它浓密、云状的大气饱含二氧化碳,具有很强的温室效应,其表层的温度能使铅熔化。

2. 早期的地球

早期的地球与今日的地球有很大不同,当时没有大气层和海洋,地表遍布岩石荒漠与陨石坑,与月球表面相似。

地球形成以来一直在变化着,而且早期的变化更为显著。地球也是由重力吸聚了冷凝碎片组成的“尘埃球”演变的。早期富铁的金属物质聚集于核心形成今日的地球的基础。

原始的地球受到加热过程。尘埃汇集的撞击提供了热量,这种热量大部分散射消失于太空,其中一部分进入到正在不断积聚物质的地球内部,随着尘埃球加大,重力导致地核的压力也使地球加热(物质受压升温,比如给自行车轮胎打气,使气筒变热)。另外,地球包含有天然放射性元素,蜕变使地球获得热量。这三种热源,使地球内部升温达到部分熔化。由于铁的密度大,使铁物质移向地球中心部分。随着地球外层的逐渐冷却,轻轻的低密度的矿物结晶分异出来,并浮