

X14
Z-487

应用教材

环境地学概论

郑乐平 主编

地质出版社

· 北 京 ·

前 言

自十八世纪中叶的工业革命以来,由于科学技术的迅速发展,一方面,人类的生产力得到了空前的发展,人类对自然的改造能力达到了空前的规模,获得了极大的物质财富;另一方面,由于环境保护意识与治理措施的相对落后,导致了一系列的环境问题的出现,影响了人类自身的生存与发展,使得环境问题成为当今世界面临的主要问题之一。近年来,由于环境保护意识的提高,环境学科获得了极大的发展,人类对于环境问题的思考已经从局部向全局过渡,从单极系统向综合系统过渡。

近年来,编者在教学的过程中发现,许多环境专业的学生对环境问题的了解较片面,不能用系统的观点学习与研究环境问题。为了拓宽学生的知识面,系统地阐述人类所居住的地球的环境状况、变化过程与原因,介绍导致环境问题产生过程中的自然因素和人为因素,以及各因素之间的相互关系,为学生在以后的学习过程中打下良好的基础,编者在上海市普通高等院校教材建设项目的支持下,编写了《环境地学概论》试用教材。

本书适合作为环境、地质和地理等相关专业的本科生与研究生的教学参考书,学时为40~50学时。全书共分八章,第一、二、三、四章由郑乐平执笔,第五、六、七、八章分别由邹联沛、胡学峰、刘强和何池全编写初稿,最后由郑乐平统一整理定稿。同济大学吕炳全教授、华东师范大学刘敏教授仔细审定了原稿并提出了宝贵的修改意见和建议;在书稿的完成过程中,得到了上海大学及其他兄弟院校一些老师的鼓励与帮助。在此,谨致以诚挚的谢意。由于作者的学识水平所限,书中难免存在错误和不当之处,恳切希望读者给予指正。

郑乐平

2004年4月20日于上海大学

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
一、环境与环境问题	(1)
二、环境科学	(2)
三、环境地学的分支学科和内容	(3)
第二章 地球的形成与演化	(5)
第一节 太阳系形成的假说	(5)
一、主要假说	(5)
二、行星的形成方式	(6)
第二节 地球的形成与演化	(6)
一、原始地壳的形成阶段	(7)
二、陆核和地盾的形成阶段	(8)
三、现代地壳的演化阶段	(8)
第三节 地球的组成与结构	(11)
一、地球的表面结构	(11)
二、地球的圈层结构	(12)
第三章 生命的演化与环境	(16)
第一节 生命起源的化学基础	(16)
一、组成生命的基本元素	(16)
二、组成生命的有机物质	(16)
三、小分子生物有机化合物的形成	(20)
四、大分子生物有机化合物的形成	(23)
五、光合作用的进化	(24)
第二节 生命起源的几种假说	(25)
一、天外起源说	(25)
二、化学进化说	(26)
第三节 生命演化的证据	(28)
一、记录生命演化的特殊“文字”——化石	(28)
二、地史早期生命演化的证据	(29)
三、地史后期生命演化的证据	(32)
第四节 人类的起源与进化	(38)

第四章 环境变化	(40)
第一节 引起环境变化的因素	(40)
一、地球外部因素	(40)
二、地球内部因素	(45)
三、人类活动的影响	(49)
第二节 环境变化的时空尺度和研究方法	(50)
一、环境变化的时空尺度	(50)
二、环境变化的定年方法	(51)
三、环境变化的研究对象	(55)
第三节 第四纪环境	(57)
一、第四纪的冰川作用	(57)
二、第四纪时期的大气环流	(60)
第四节 中国的环境变化	(61)
一、中国的古气候环境	(61)
二、中国的第四纪环境概况	(64)
第五章 水环境	(69)
第一节 水的类型与水资源	(69)
一、水的类型	(69)
二、水资源	(70)
三、水资源管理	(73)
第二节 水环境状况	(73)
一、全球水环境状况	(74)
二、我国的水环境状况	(75)
三、水环境规划	(77)
四、水环境管理	(79)
第三节 水污染与治理	(80)
一、水污染种类及来源	(80)
二、水污染治理对策	(82)
三、水污染处理技术	(85)
第四节 “三河三湖”的污染	(86)
一、“三河三湖”污染现状及原因	(86)
二、“三河三湖”污染的治理对策	(92)
第六章 土壤环境	(94)
第一节 土壤的形成与特征	(94)
一、土壤母质的形成	(94)
二、土壤的形成及其影响因素	(96)
三、土壤的形态特征	(99)
第二节 土壤污染	(100)
一、土壤污染	(100)
二、土壤重金属污染	(101)
三、土壤中的农药污染	(104)

第三节 水土流失	(109)
一、水土流失的概况	(109)
二、我国水土流失状况	(109)
三、水土流失原因	(111)
四、水土流失的危害	(113)
五、水土流失的防治	(114)
第七章 大气环境	(116)
第一节 大气圈的形成与演化	(116)
一、原始大气阶段	(116)
二、次生大气阶段	(116)
第二节 大气圈的组成与结构	(118)
一、大气的组成	(118)
二、大气圈的结构	(119)
第三节 大气污染	(121)
一、大气污染源	(121)
二、大气污染物	(121)
三、大气污染的危害	(125)
四、气象条件与大气污染的关系	(130)
第四节 全球大气环境问题	(132)
一、全球变暖和温室效应	(132)
二、臭氧层损耗	(134)
三、酸雨	(137)
第五节 我国面临的大气环境问题与处理对策	(138)
一、我国面临的大气环境问题	(138)
二、造成我国大气污染严重的主要原因	(141)
三、我国大气环境治理的对策	(142)
第八章 生物环境	(146)
第一节 生物圈与生态环境	(146)
一、生物圈概述	(146)
二、生物与生态环境的关系	(147)
第二节 生态系统和生态平衡	(147)
一、生态系统	(147)
二、生态平衡	(149)
第三节 陆地生态系统	(150)
一、自然生态系统	(150)
二、人工生态系统	(157)
第四节 水域生态系统	(161)
一、淡水生态系统	(161)
二、海洋生态系统	(164)
第五节 生物及其环境的保护与管理	(166)
一、生物资源保护	(166)
二、生物资源的合理利用和管理	(167)

三、生物环境问题及其处理对策	(169)
第六节 国际地圈生物圈计划(IGBP)	(170)
一、国际地圈生物圈计划(IGBP)研究概况	(170)
二、我国东北森林-草原陆地样带研究简介	(172)
主要参考文献	(173)

第一章 绪 论

一、环境与环境问题

环境是指环绕人类的外部世界,是人类赖以生存和发展的社会和物质条件的综合体,可分为自然环境和社会环境,其中自然环境又可按组成要素进一步分为大气环境、水环境、土壤环境和生物环境等。《中华人民共和国环境保护法》中指明:“本法所称环境,是指影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体,包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等”。

在人类漫长的发展过程中,人始终与环境相互作用,从周围环境中索取生存与发展需要的部分,同时将不需要的部分遗弃于周边环境。在工业革命以前,由于人类对周边环境的影响作用较小,加之环境具有一定程度的自我修复功能,所以这种对环境的破坏尚没对人类的生存与发展过程产生较严重的影响。工业革命以后,采矿、冶金、化工、纺织、机械制造等行业的迅速发展,特别是煤的大量燃烧,导致了局部地区出现较严重的环境问题,如 1873~1892 年间英国伦敦曾发生过多次煤烟污染事件,死亡近千人。自 19 世纪 30 年代以来,随着科学技术的突飞猛进,各种工矿企业和能源开发等都得到了大力发展,由此而引起的污染物排放急剧增加,导致全球许多地区相继发生严重的污染事件(表 1-1)。惨痛的教训使人们感到自身的生存和安全受到了威胁,并开始关注环境问题。

表 1-1 国内外主要污染事件

事件名称	时间、地点	污染源及现象	主要危害
马斯河谷烟雾	1930 年 12 月,比利时马斯河谷(长 24km,两侧山高 90m)	二氧化硫、粉尘蓄积于空气	约 60 人死亡,数千人患呼吸道疾病
洛杉矶光化学烟雾	1943 年美国洛杉矶	晴朗天空出现蓝色刺激性烟雾,主要为由汽车尾气经光化学反应所造成的烟雾	眼红、喉痛、咳嗽等呼吸道疾病
多诺拉烟雾	1949 年美国宾夕法尼亚州多诺拉镇	炼锌、钢铁、硫酸等厂排放的废气,蓄积于深谷空气中	死亡 10 多人,患病约 6000 人
伦敦烟雾	1952 年 12 月英国伦敦	二氧化硫、烟尘在一定气象条件下形成刺激性烟雾	诱发呼吸道疾病,死亡约 4000 人
四日市气喘病	1955 年日本四日市	炼油厂排放含镉废水	500 多人患哮喘病,死亡 30 多人
富山县骨痛病	1955 年日本富山县神通川	锌冶炼厂排放含镉废水	引起骨痛病,患者 200 多人,多人因不堪忍受痛苦而自杀
水俣病	1956 年日本水俣湾	化工厂排放含汞废水	中枢神经受伤害,听觉、语言、运动功能失调,死亡 200 多人
米糠油事件	1968 年日本	米糠油中含有多氯联苯	死亡 10 多人,中毒 10000 余人
博帕尔事件	1984 年 12 月印度中央邦博帕尔市	美国联合碳化物公司所属农药厂 430t 异氰酸甲酯泄漏	死亡 6400 人,135000 人受到伤害,20000 多人被迫迁移

续表

事件名称	时间、地点	污染源及现象	主要危害
切尔诺贝利核污染	1986年4月前苏联乌克兰首府基辅市西北130km处的切尔诺贝利核电站	第四号反应堆爆炸,放射性物质总释放量约3~4E ^{bq} ,放射性物质沉降到前苏联西部广大地区和欧洲国家,并有全球性沉降	死亡31人,203人受到大剂量照射并复合热烧伤皮肤β烧伤。已发现畸形儿童,135000人被迫迁移
阿拉斯加湾溢油污染	1989年3月美国阿拉斯加王子海湾	埃克森石油公司的瓦尔迪磁号油船搁浅后溢出原油3.8×10 ⁴ t	数千公里海岸线布满石油,造成直接、间接生态破坏,(10~30)×10 ⁴ 只海鸟死亡,其中150只秃鹰,约有4000头海獭死亡,受污染的海獭中只有200只洗尽油污后获得新生,恢复生态系统约需5~25a
海湾战争油污染	1991年6月波斯湾沿岸	约5×10 ⁴ t原油流入海中,科威特约700眼油井被破坏,燃烧了6个月	原油覆盖了1000km ² 以上海面,污染400km海岸,大量海鸟、鱼、贝类遭损害;原油燃烧的黑烟覆盖数百平方公里地方,二氧化硫和烟尘的污染使居民、植被、土壤造成严重伤害,并使日照量减少,气温下降;其烟尘在日本也能观察到,喀喇昆仑山还降下了黑雪

二、环境科学

自环境问题产生以来,人类就不断地为认识和解决环境问题而努力。自19世纪以来,地学、化学、生物学、物理学、医学及一些工程技术学科开始涉及到环境问题。为了寻求人类与环境的协调发展,自20世纪70年代以来,兴起了一门新的学科——环境科学。

1. 环境科学的研究对象和任务

环境科学以人类-环境系统为特定的研究对象,主要研究环境在人类活动强烈干预下所发生的变化和为了保持这个系统的稳定性所应采取的对策与措施。在宏观上研究人类与环境之间的相互作用、相互促进、相互制约的对立统一关系,揭示社会经济发展和环境保护协调发展的基本规律;在微观上研究环境中的物质,尤其是人类活动排放的污染物在有机体内迁移、转化和积累的过程及其运动规律,探索其对生命的影响与作用机理等。因此,环境科学是一门综合性很强的学科,不仅牵涉到自然科学与工程技术科学的许多部门,而且还涉及经济学、社会学和法学等社会科学方面,需要充分运用地学、生物学、化学、物理学、医学、工程学、数学、计算科学以及社会学、经济学等多种学科的知识。

环境科学的任务就是要揭示人类与环境二者之间的辩证关系,掌握其发展规律,调控二者之间物质、能量与信息的交换过程,寻求解决矛盾的途径和方法,以求人类-环境系统的协调和持续发展。其主要任务有:①了解人类与环境的发展规律;②研究人类与环境的关系;③探索人类活动强烈影响下环境的全球性变化;④开展环境污染防治技术与制定环境管理法规。

2. 环境科学的分科

环境科学是一门新兴的学科,而且还处在蓬勃发展之中,对环境科学的分科体系迄今尚未有一致的看法。由于环境问题的重要性和综合性,许多自然科学、社会科学和工程科学部门都已积极参加到环境科学的研究中,形成了许多相互渗透、相互交叉的分支学科。其中属于自然科学方面的有环境地学、环境生物学、环境化学、环境物理学和环境医学;属于社会科学方面的有环境法学、环境经济学和环境管理学等;属于工程科学方面的有环境工程学等,并且其中许多学科又进一步发展出了一些二级分支学科。现摘要列举如下。

环境地学:应用地学一系列分支学科的理论与方法,研究人类活动与环境间的相互作用和影响,主要的分支学科有环境地质学、环境地球化学、环境地理学、环境水文学、环境海洋学、环境土壤学、污染气象学等。

环境生物学:研究生物与受人类干预的环境之间相互作用的机理和规律,它以生态系统为研究对象,在宏观上研究污染物在生态系统中的迁移、转化和归宿,以及对生态系统结构和功能的影响;在微观上研究污染物对生物的毒理作用及其造成遗传变异的机理,主要的分支学科有污染生态学、环境微生物学、环境植物学、环境动物学等。

环境化学:主要是运用化学的理论和方法,鉴定和测量化学污染物在大气圈、水圈、土壤-岩石圈和生物圈中的含量,研究它们在环境中存在形态及其迁移、转化和积淀的规律,主要的分支学科有环境分析化学和环境污染化学等。

环境物理学:主要研究声、光、热、电磁场和射线等物理环境对人类的影响,以及消除其不良影响的技术途径与措施,主要的分支学科有环境声学、环境光学、环境热学、环境电磁学、环境热学、环境放射学、环境空气动力学等。

环境医学:环境医学主要研究环境与健康之间的关系,研究环境有害因素对人体健康状况的影响及其致病机制,保护环境,保障和促进人体健康,具体包括探索污染物在人体内的动态和作用机理,查明环境致病条件,阐明污染物对健康损害的早期反应和潜在的远期效应等,为制定环境卫生标准和预防措施提供科学依据。其分支学科包括环境流行病学、环境毒理学、环境医学监测等。

环境法学:环境法学是法学和环境科学相结合的一门边缘学科,具有明显的自然科学和社会科学交叉渗透的特点。环境法学以环境法这一新兴部门法为其主要研究对象,包括环境法的产生和发展、环境法的目的和任务、环境法的体系、环境法的性质和特点、环境法的原则和基本法律制度、环境法基本理论等。作为一门边缘学科,环境法学还应注意研究相关学科之间的渗透和融合,以法学为基础,运用法学的原理,吸收相关学科如生态学、环境经济学、环境管理学的科学成果和环境科学的某些原理,深入研究环境法学的特点和基本理论,以加强国家的环境法制建设,充分发挥法律机制在国家环境管理中的作用。

环境经济学:环境经济学是经济科学和环境科学交叉的学科,研究经济发展和环境保护之间的相互关系,探索合理调节经济活动和环境之间物质交换的基本规律,使经济活动取得最佳经济效益与环境效益。

环境管理学:环境管理学是综合运用环境科学和管理科学的理论与方法来研究人类-环境系统的管理过程和运动规律,采用各种有效的手段对人的各种行为进行有效的组织和管理,以调整经济、社会发展同环境保护之间的关系,正确处理与国民经济各部门、各社会团体和个体环境有关问题的一门学科。

环境规划学:环境规划学是以生态学和区域经济学为基础,以系统理论与方法为指导,研究特定时空条件下生态-经济-社会系统的变化规律和发展趋势,为制定环境保护目标提供科学决策依据的一门学科。

三、环境地学的分支学科和内容

环境地学目前已比较明确的分支学科有:环境地质学、环境地球化学、污染气象学、环境海洋学和环境土壤学等。

环境地质学是环境科学与地质学的边缘学科,主要研究人类活动与地质环境的相互作用,包括:①由地质因素引起的环境问题,如地震、火山活动、海啸、山崩、泥石流等现代地质过程引起的人类环境灾害,以及因地壳表面化学元素分配不均而使某些地区某一元素严重不足或过剩引起的动、植物和人体的生物地球化学地方病等;②由人类活动引起的环境地质问题,包括化学污染引起的环境地质问题(如使地表元素的分布更不均匀和改变局部环境的地球化学性质)、大型水利工程引起的环境地质

问题(如诱发地震等)、矿产资源的保护利用与开采过程中引起的环境地质问题(如废弃矿床的处置问题)和城市化引起的环境地质问题等(如地下水资源的保护利用问题,地下水水质恶化问题,地下水超采和高层建筑引起的地面沉降问题等)。

环境地球化学是环境科学与地球化学之间的边缘学科,主要研究天然的和人为释放的化学物质在环境中的迁移转化规律及其与环境质量和人体健康的关系。主要内容有3个方面:①研究人类环境的地球化学性质,尤其是及时研究现代环境化学变化的过程和趋势,以便在地球化学的基础上更加深入地了解组成人类环境各个系统(岩石圈系统、水系统、大气系统、土壤-植物系统、技术系统)的地球化学性质;②研究污染物在环境中的迁移转化规律,评价环境质量和预测环境质量变化的趋势,确定自然界对污染物的净化能力和确定环境对污染物的可容纳量;③研究环境中与生命有关的物质对生物体和人体健康的影响。这一部分内容与生物地球化学相交叉,但环境地球化学的任务不仅是研究现代环境化学组成的变化与生命体、人体的化学组成和人类健康的关系,而且还在广阔的地质背景上研究宇宙元素、地壳元素、海洋元素与生命元素的关系,研究生命过程的地球化学演化等问题。

污染气象学是环境科学与现代气象学之间的边缘学科,重点研究大气运动与大气中污染物的相互作用,即研究近地面层大气运动引起的污染物扩散、输送、迁移和转化过程,以及大气污染对天气和气候变化的影响,目前的研究侧重于下列几方面:①大气运动对污染物扩散的影响,即研究各种成因的大气湍流运动所引起的污染物的扩散和再分配;②气象因素对污染物分解和化合的作用,污染物在大气中发生的化学反应可使污染物的毒性增强,或减弱,或丧失,或形成新的污染物,如二氧化硫在大气中可氧化为三氧化硫,进而形成硫酸雾和酸雨等;③大气污染对局部气候的影响;④大气污染的全球效应等。

环境海洋学研究污染物在海洋中的分布、迁移、转化的规律。海洋环境的特点是进入海洋的废弃物无法排往他处。海洋水体连成一片,因此海洋污染具有广泛性和复杂性。环境海洋学研究的范围是全球海洋,但重点在沿岸的海域、海湾和河口。研究的对象是海水、底质、海洋生物及在这3种介质中积蓄的污染物。环境海洋学研究的内容包括:①海洋环境中物质通量的研究,通量是指某种污染物在一定时间内通过各种途径排入海洋的量,通量研究重点在于正确估计陆源物质给海洋造成的负荷;②污染物进入海洋后迁移转化规律的研究,包括水迁移的动力学问题,污染物由于化学、光化学和生物化学造成的形态的变化,污染物被海洋生物吸收后的迁移等;③海洋污染的生物效应研究,这是环境海洋学研究的核心理,从生态学观点研究污染物对海洋生物的毒性、毒理作用,特别要注意低含量、长时间所造成的慢性影响;④海洋污染防治措施的研究,重点在合理利用海洋自净能力的基础上,提出控制污染物入海量的可行性措施,制定和选择沿岸工农业生产布局的最佳方案。

环境土壤学是在土壤学基础上发展起来的新兴学科,主要研究人类活动引起的土壤环境质量变化以及这种变化对人体健康、社会经济、生态结构和功能的影响,探索调节、控制和改善土壤环境质量的途径和方法。研究的对象是土壤-植物系统,由土壤无机部分、土壤有机部分和植物3个亚系统组成;研究的核心是认识和掌握土壤-植物系统的污染和净化功能这一对矛盾的发生、发展、转化和统一的过程,以便采取必要措施,使矛盾朝向有利于人类的方向发展。研究的主要内容有:①研究土壤背景值;②研究土壤污染现状;③研究土壤及其边界环境中污染物的迁移转化和分布规律;④研究污染对土壤特性的影响和生态效应;⑤研究土壤-植物系统对主要污染物的净化功能、反应动力学及其环境条件;⑥研究土壤环境质量基准和土壤环境容量等。

思考题:

- 1) 什么是环境?
- 2) 环境科学的内容与重要分支学科是什么?
- 3) 环境地学的研究对象及其分支学科是什么?

第二章 地球的形成与演化

在广袤无垠的宇宙中,分布着一颗表面海陆隐现、蔚蓝色的球形天体,这就是人类赖以生存与发展的家园——地球。自她诞生至今,已经历了45亿多年漫长而复杂的演化历史。人类的出现仅1~3Ma,在地球历史中只不过是短暂的瞬间。自人类出现以来,地球一方面为人类的生存与发展提供了一切资源与条件;另一方面对人类的生存与环境产生了巨大的影响作用。作为在地球上占统治地位的人类一直对其生存的家园——地球的形成与演化进行研究,以便更好地善待地球,使人类获得更好的生存空间与环境。在本章将分述太阳系形成的假说、地球的演化、地球的层圈结构等。

第一节 太阳系形成的假说

一、主要假说

太阳作为宇宙中的一颗恒星,其起源与演化一直是科学家探讨的问题。自1755年康德提出了第一个太阳系起源的“星云说”以来,关于太阳系起源的假说已有40多种,但其中还没有一种假说是比较完整的和被普遍接受的。太阳系起源首先要说明的一个基本问题就是行星的物质来源,有关假说可分成3类:①“灾变说”或“分出说”,认为行星物质是因某一偶然的巨变事件从太阳中分出的,如因一颗恒星走近或碰到太阳,或因太阳爆发出大量物质形成行星;②“俘获说”,认为太阳从恒星际空间俘获物质形成原始星云,之后演变成行星;③“共同形成说”,认为整个太阳系所有天体都是由一个原始星云形成的,星云中心部分的物质形成了太阳,外围部分的物质形成行星等天体。下面简介几种主要的假说。

1. 星云说

“星云说”是康德和拉普拉斯各自于1755年和1796年提出的关于太阳系起源的一个假说,是最早的天体演化学说。康德1755年在《自然通史和天体理论》中指出:太阳系的所有天体是由一团由大大小小的微粒所构成的弥漫物质通过万有引力逐渐形成的。较大的质点把较小的质点吸引过去,逐渐形成大的团块,团块在运动中经常发生碰撞,有的碎了,有的则结合成更大的团块。弥漫物质的中心部分就聚集成太阳。拉普拉斯1796年在《宇宙体系论述》中指出:整个太阳系是由一个自转着的气体星云收缩而成的。星云收缩时,由于角动量守恒自转速度越来越大,到一定的时候,赤道处离心力等于吸引力,便有物质留下来,后来这些物质就形成行星。“星云说”否定了牛顿神秘的“第一推动力”,首先提出了自然界是不断发展的辩证观点。目前的研究证实,虽然“星云说”在科学上有不少缺点和错误,但基本思想还是正确的。

2. 俘获说

“俘获说”认为,构成行星和卫星的物质是太阳形成后从太阳邻近区域俘获来的,例如:前苏联科学家施米特(1944年)提出,太阳在运行中穿过一个星际云,俘获了3%太阳质量的星际物质,这些物质逐渐形成行星和卫星。此外,爱尔兰的埃奇沃思、英国的彭德雷和威廉斯以及印度的米特拉等提出了其他类型的“俘获说”,他们在描述的图像和处理的方法上存在着很大差别。提出“俘获说”的一个主要出发点是为了说明太阳系角动量的异常分布,但计算表明,俘获的概率是极微小的,而且仍无法解释不变平面及大到 62° 的交角等问题。

3. 灾变说

“灾变说”认为,太阳系的形成是宇宙中某种偶然的巨大事件的结果。法国动物学家布丰于 1745 年首次提出“灾变说”,认为太阳比行星先形成,太阳形成后,曾经有一个彗星“掠碰”(擦边而过)到它,这一方面使太阳自转起来,另一方面碰出了不少物质,这些物质一部分落回太阳,一部分脱离太阳的吸引力飞走了,还有一部分则绕太阳旋转起来,形成行星。此后,金斯 1916 年提出“潮汐说”,认为当另一恒星接近太阳时,在太阳上面产生很大的潮,反面的潮比正面的小得多,很快衰落;正面的潮很大,物质被经过的恒星拉出来,形成一个长条。当恒星离开太阳时,它对长条的吸引使得长条朝恒星离去的方向弯曲,使长条获得了角动量,以后这些物质就一直绕太阳转动,并在长条内形成所有的行星。其他的“灾变说”有罗素 1935 年提出的太阳是双星的一个子星等。“灾变说”中的偶然因素是其主要弱点,另外它们也不能解释太阳系角动量的特殊分布等问题,所以这一假说已基本被否定了。

4. 其他关于太阳系演化的假说

除了“星云说”、“俘获说”、“灾变说”等太阳系演化假说外,还有德国物理学家魏茨泽克于 1944 年提出的“旋涡说”,美国天文学家柯伊伯于 1949 年提出的“原行星说”,瑞典磁流体力学家阿尔文于 20 世纪 40 年代提出的“电磁说”。美国化学家尤里、英国天文学家安克宙、法国天文学家沙兹曼等都曾提出过一些具体理论,解释太阳系演化机制。美国的卡梅伦、前苏联的萨夫龙诺夫、日本的林忠四朗和英国的霍伊尔等人的“新星云说”都曾较细致地论述了行星的形成问题。

二、行星的形成方式

行星的形成方式是太阳系形成的一个基本问题。关于行星的形成方式,大致有 5 种看法:

- 1) 先形成湍涡流的规则排列,在次级流中形成行星。
- 2) 先凝聚成大小不一的固体块——星子,星子再聚集形成行星。
- 3) 先形成环体,然后由环体形成行星。
- 4) 先形成很大的原行星,原行星演化成行星。
- 5) 先形成中介天体,由中介天体结合成行星。

随着太阳系物理学的迅速发展,有关太阳系起源的研究,现已进入定性、系统研究阶段。虽然各类假说仍很多,但已有许多共识:①太阳系的年龄为 50 亿~46 亿年,地球和月球约在 46 亿年前形成;②大行星轨道基本稳定,从 20 亿年前到现在没有很大改变,而小天体(小行星、彗星、流星体)的轨道则发生了较大的变化;③小天体形成以来变质过程较少,保留了许多形成时的信息,它们形成时的温度为 400~500K,形成时间为几百到几千万年;④原始星云的化学组成最初是较均一的,后来才发生化学分馏,导致各行星化学组成的差异;⑤星云盘内的固体颗粒先沉降到赤道面形成尘层,然后才随密度增加在尘层内形成星子;⑥太阳系角动量的特殊分布是太阳磁场通过磁耦合机制和沙兹曼机制使太阳角动量转移造成的;⑦研究太阳系起源,必须通过动力学、原子过程、化学过程、电磁和等离子体过程等的综合研究,才能解决这一难题。

第二节 地球的形成与演化

地球是太阳系中绕太阳运行的九大行星之一,是距太阳最近的第三颗星球。在形态上,地球是一不规则的旋转球体(图 2-1),它的赤道半径为 6378.14km,两极半径是 6356.755km,长短半径差为 21.375km。地球北极上凸 10km,南极下凹 30km。依据地球的形状和大小,可测出地球的质量为 $5.976 \times 10^{27} \text{g}$,体积为 $1.083 \times 10^{27} \text{m}^3$,平均密度为 5.5g/cm^3 。

地球形成至今大约有 46 亿年,大致可以分为 3 个阶段:第一阶段为原始地壳的形成阶段,时限距今约 46 亿~35 亿年,这一时期的情况主要根据现有的地质知识和理论并结合对月球及其他星球的考察推论得出的;第二阶段为陆核和地盾的形成阶段,时限距今约 35 亿~5.9 亿年,在地球的部分地

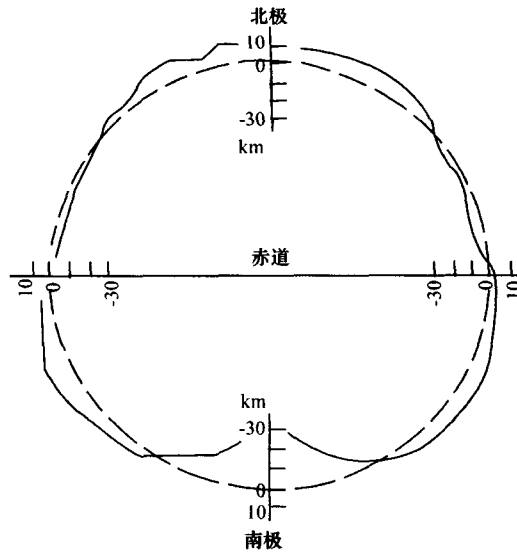


图 2-1 地球的形状

区保留有这一时期的地质体;第三阶段为现代地壳的演化阶段,时限为 5.9 亿年前至今,对其研究较为成熟。

一、原始地壳的形成阶段

这一时期的基本特征是地球的圈层构造初步形成,但性质与现在的圈层比较相差甚远。

原始地壳的初步形成:根据地球是由星际物质相互吸引、聚积而形成的假说,地球应是由冷变热的。地球内部具有的高温来自于星云物质机械碰撞产生的热以及地球内部放射性元素衰变产生的热,这一时期地球内部蕴藏有丰富的短半衰期的放射性元素,它们产生大量的热能。在热能的作用下,原始地球不断增温,在其内部某个深度首先达到物质发生熔融的程度并开始按物质比重的分异,重者下沉,轻者上浮。比重大而熔点低的铁、镍等元素最先分离出来并向地心集中,形成地核。在重力分异过程中,还伴随着物质的位能向热能转化,因而地内上层的岩石也相继发生熔融,较轻的铁镁硅酸盐物质向上集中,形成原始地幔。地幔进一步分异,原始地幔的表层失热、变硬,形成由铁镁、碱金属的硅铝酸盐组成的坚硬外壳,即原始地壳。

原始地壳的破裂与增厚:地球形成的早期,陨星坠落地面的现象非常频繁和普遍。大量陨星对地面的撞击使得薄薄的原始地壳破裂,壳下熔融的物质喷溢,广泛发生火山作用。大量的火山喷发增加了原始地壳的厚度,改变了原始地壳的物质组分和结构特点。

原始地壳物质成分与结构的进一步改变:在地球演化的早期,由于丰富的短半衰期元素的衰变生热,地球的平均热流值较当今地球的平均热流值($61.28\text{mW}/\text{m}^2$)高得多。科拉半岛的超深钻井成果表明,在太古宙发生变质作用时,这里的地热增温率是现今的 5~7 倍。热流值的大幅度降低意味着地幔物质的熔融程度减小,地幔物质由完全熔融转变为部分熔融。因此,火山作用由原先的超基性岩浆喷发转变为中酸性岩浆喷发,从而导致原始地壳物质成分及其结构的进一步改变。

地球外部圈层初步形成:火山喷发的大量气体聚集在固体地球的外部,形成原始大气圈;从气体中凝聚而成的水降落地面,形成原始水圈。原始水圈除含 H_2O 外,还含有大量由火山喷出的酸性物质,如 HCl 、 HF 等,这种酸性水具有较强的溶解能力,有利于原始地壳中硅酸盐矿物的分解,并从中析出各种元素和化合物,为在地面上出现多色彩的沉积作用和形成沉积矿物创造了条件。原始大气圈的形成经历了一系列的演化。在行星地球形成之初,气相物质主要由 H_2 和 He 组成,其次是 CH_4 、水汽、 NH_3 和 H_2S 等含氢化合物。在行星地球逐步演化与形成过程中,其气相成分不断地向宇宙空间弥散而脱离地球。随后,由于火山喷发以及因热力过程与化学过程造成固体吸附气体的再游离,形成

次生大气成分。火山活动释放的气体主要是 CO_2 、 CH_4 、 NH_3 和水汽,一方面,水汽凝结成水,其他含氢成分因向宇宙空间消散快而大量损失,因此大气中 CO_2 浓度逐渐升高;另一方面,水蒸气不断受太阳紫外线的作用,逐渐分解出氢和游离氧,由于游离氧逐渐形成和聚积,最终便构成一个连续的臭氧层,臭氧层吸收并反射大量紫外线,为地面出现生命创造了条件。

二、陆核和地盾的形成阶段

原始地壳的表面几乎全被水淹没,没有陆地,这一特点从地球上已知最老岩石的性质可以推断,如南非林波波带中部的片麻岩和西格陵兰的花岗片麻岩同位素年龄值达 38 亿年,南美圭亚那角闪岩的年龄值达 40 亿年,它们是地球上最古老的岩石,这些岩石的原岩中,除存在着酸性火成岩外,还富含超基性和基性火山岩,火山岩中发育枕状构造,并夹有硅质岩而缺乏陆源碎屑沉积岩。枕状熔岩是海底火山喷发的证据,组成硅质岩的 SiO_2 是火山物质经海水分解形成的或由海底热泉带来的。陆源碎屑岩的缺乏则说明当时没有陆地。

从大约距今 35 亿年前开始,随着地球热量逐渐消失,特别是放射性热源的快速衰减,出现了地幔物质的部分熔融。因而,这一时期除了继续有超基性岩浆活动外,还会出现安山玄武质岩浆活动。大量岩浆在海底喷发和堆积,最终出现了由火山喷发物质构筑起来的岛屿,它们便成为最早的陆地,从此才开始陆地的风化剥蚀,形成陆源碎屑物质,并在陆地周围的海域中堆积成陆源碎屑沉积岩,这些最早的陆地成为后来大陆形成的核心,这就是陆核,如北美大陆中部的太古宇岩石。

从大约距今 25 亿年前开始,由于放射性热的进一步衰减,超基性岩浆活动减弱,安山玄武质岩浆及其结晶分异而成的酸性岩浆相应增多。这些在成分上有所更新的火成岩与在陆核周围堆积的各种沉积岩共同组成了新的地质体,在后来的构造运动及岩浆活动的作用下,发生褶皱、变质、隆起,并焊接到陆核的边缘,使陆核扩大,形成面积较为广阔的地块即地盾,如南非地盾、北美地盾、西伯利亚地盾等,它们成为新的陆地,也是古大陆的前身。

从距今约 25 亿年前开始,海陆的分异已很显著,与此相应的是陆壳与洋壳的并存,古大陆便在陆壳与洋壳的相互影响和不断演化中快速成长。

三、现代地壳的演化阶段

现代地壳的演化具有旋回性,每一旋回均发生在特定的地质年代。

1. 地质年代

地质年代是指地质体形成或地质事件发生的时代,它包含地质体形成或地质事件发生的先后顺序及地质体形成或事件发生距今有多少年,前者称为相对年代,后者称为绝对年代。

相对年代的确定:相对年代是通过地层层序律、生物层序律以及切割律或穿插关系来确定的。地层是在一定地质时期内形成的层状岩石(含沉积物)。地层形成时是水平的或近于水平的,并且较老的地层先形成,位于较下部位;较新的地层后形成,位于较上部位,即原始产出的地层具有下老上新的规律——地层层序律。生物的演变是从简单到复杂,从低级到高级不断发展的,因此一般来说年代越老的地层中所含的生物遗体或遗迹越原始、越简单、越低级,年代越新的地层中所含生物遗体或遗迹越进步、越复杂、越高级;另一方面不同时期的地层中含有不同类型的化石及其组合,而在相同时期且在相同地理环境下所形成的地层,只要原先的海洋或陆地相通,都含有相同的化石及其组合,这就是生物层序律。就侵入岩与围岩的关系来说,总是侵入者年代新,被侵入者年代老,这就是切割律。这一原理还可以用来确定有交切关系或包裹关系的任何两地质体或地质界面的新老关系,即切割者新,被切割者老;包裹者新,被包裹者老。

绝对年代的确定:绝对年代的确定是通过放射性元素同位素年龄的测定来实现的。原理是基于放射性元素都具有固定的衰变常数(λ),且矿物中放射性同位素蜕变后剩下的母体同位素含量(N)与蜕变而成的子体同位素含量(D)可以测出,根据公式:

$$t = \ln(1 + D/N) \times 1/\lambda$$

就可以计算出该放射性同位素的年龄(t)。它若包含该放射性元素的矿物的形成年龄,称为矿物的同位素年龄,相当于包含该矿物并和该矿物同时形成的岩石的绝对年龄。放射性同位素种类很多,但是能够用来测定地质年代的必须具备以下条件:①具有较长的半衰期;②同位素在岩石中有足够的含量,可以分离出来并加以测定;③其子体同位素易于富集并保存下来。通常用来测定地质年代的放射性同位素见表 2-1,其中钾-氩、铷-锶和铀-钍等主要用来测定较古老的地质年龄,而碳-14 的半衰期短,用于测定新的地质事件和大部分考古材料的年代。

表 2-1 用于测定地质年代的放射性同位素

母体同位素	子体同位素	半衰期	母体同位素	子体同位素	半衰期
铀-238(^{238}U)	铅-206(^{206}Pb)	45 亿年	铷-87(^{87}Rb)	锶-87(^{87}Sr)	500 亿年
铀-235(^{235}U)	铅-207(^{207}Pb)	7.13 亿年	钾-40(^{40}K)	氩-40(^{40}Ar)	15 亿年
钍-232(^{232}Th)	铅-208(^{208}Pb)	139 亿年	碳-14(^{14}C)	氮-14(^{14}N)	5692 年

地质年代表:地质年代表是把地质历史进行系统性编年,它的内容包括地质年代单位、名称、代号和同位素年龄值等,反映了地壳中无机界和有机界演化的顺序、过程和阶段。地质年代表是对世界各地的地层进行系统划分对比的结果建立的,其中最大一级的地质年代单位为“宙”、次一级单位为“代”、第三级单位为“纪”、第四级单位为“世”,与地质年代相对应的年代地层单位为:“宇”、“界”、“系”、“统”(表 2-2)。

2. 现代地壳演化的旋回

现代地壳的演化经历了一系列的构造旋回。构造旋回是指在地质历史中,构造运动的剧烈时期与其缓和时期是交替出现的,具有旋回性特点。现代地壳的演化经历了下述旋回。

震旦—加里东旋回:是一个时间跨度较大的旋回,包括了震旦旋回及从寒武纪到志留纪末的加里东旋回。加里东运动是这一旋回末期的主要构造运动,表现为震旦纪及早古生代地层遭受到强烈变质、强烈变形、岩浆侵入以及泥盆系不整合在志留系或更老地层之上。在我国这一运动主要见于华南及祁连山等地。

海西旋回:时代从泥盆纪到二叠纪末,旋回末期出现的强烈的构造运动国际上称为海西运动,表现为晚古生代地层强烈变形、岩浆活动以及下三叠统不整合在二叠系之上。在我国它主要见于天山、昆仑山以及浙、闽、粤沿海一带。

印支旋回:时代为三叠纪,旋回末期的强烈构造运动称为印支运动,表现为三叠系的变质、岩浆活动以及下侏罗统与三叠系之间的不整合接触关系。印支运动因在中南半岛发育最好,并最先命名而被沿用。在我国这一运动见于四川西部、青海东南部以及中国东部许多地区。这一运动促使海水自我国大陆的大多数地区撤退,从而开创了我国以大陆沉积作用为主的新时期。

燕山旋回:时代从侏罗纪到白垩纪末,这一旋回出现的构造运动称为燕山运动。它引起中侏罗统及白垩系变形,广泛的岩浆活动以及侏罗系与白垩系及白垩系与第三系之间的不整合接触关系。燕山运动以河北燕山地区为最典型,并因研究最早而得名。它在我国东部地区有广泛影响,在我国西南部的横断山脉地区有重要表现。

喜马拉雅旋回:时代包括整个新生代,这旋回中的构造运动称为喜马拉雅运动,主要表现为新生界的变形,第三系内部及其与第四系之间的不整合接触,主要见于我国台湾及喜马拉雅地区。

表 2-2 地质年代表

地 质 年 代 (年代地层)			距今年龄 Ma	生物开始出现时间		
宙 (宇) 代 (界)	纪 (系)	世 (统) 代号				
显生宙 (宇)	新生代 (界) Kz	第四纪 (系) Q	全新世 (统) Qh 更新世 (统) Qp	2.0	← 现代人	
		第三纪 (系) R	新第三纪 (系) N	上新世 (统) N ₂ 中新世 (统) N ₁	24.6	← 古猿
			老第三纪 (系) E	渐新世 (统) E ₃ 始新世 (统) E ₂ 古新世 (统) E ₁	65	
	中生代 (界) Mz	白垩纪 (系) K	晚 (上) 白垩世 (统) K ₂ 早 (下) 白垩世 (统) K ₁	144	← 被子植物	
		侏罗纪 (系) J	晚 (上) J ₃ 中 (中) 侏罗世 (统) J ₂ 早 (下) J ₁	213	← 哺乳类	
		三叠纪 (系) T	晚 (上) T ₃ 中 (中) 三叠世 (统) T ₂ 早 (下) T ₁	248		
	古生代 (界) Pz	晚古生代 (界)	二叠纪 (系) P	晚 (上) 二叠世 (统) P ₂ 早 (下) 二叠世 (统) P ₁	286	
			石炭纪 (系) C	晚 (上) C ₃ 中 (中) 石炭世 (统) C ₂ 早 (下) C ₁	360	← 爬行类
		早古生代 (界)	泥盆纪 (系) D	晚 (上) D ₃ 中 (中) 泥盆世 (统) D ₂ 早 (下) D ₁	408	← 裸子植物 ← 两栖类
			志留纪 (系) S	晚 (上) S ₃ 中 (中) 志留世 (统) S ₂ 早 (下) S ₁	438	← 蕨类植物 ← 鱼类
			奥陶纪 (系) O	晚 (上) O ₃ 中 (中) 奥陶世 (统) O ₂ 早 (下) O ₁	505	← 无颌类
			寒武纪 (系) Є	晚 (上) Є ₃ 中 (中) 寒武世 (统) Є ₂ 早 (下) Є ₁	590	
	元古宙 (宇) Rt	震旦纪 (系) Z	晚 (上) 震旦世 (统) Z ₂ 早 (下) 震旦世 (统) Z ₁	800	← 无脊椎动物	
	太古宙 (宇) AR			2500	← 藻类	

第三节 地球的组成与结构

一、地球的表面结构

1. 地球表面的海陆分布

在地球表面 510000000km^2 的总面积中,海洋面积为 361000000km^2 ,约占地表总面积的 70.8%;陆地面积为 149000000km^2 ,占地表总面积的 29.2%,二者约 2.4:1。地球上的海洋相互连成一片,形成统一的世界大洋,而陆地则是彼此分离的。

由于海洋和陆地在面积上的悬殊,所以任意一个地球大圆所划分的半球海洋面积都超过陆地面积,如以南北半球和东西半球为例,它们的海陆面积对比如表 2-3。

表 2-3 地球海陆面积分布对比

半 球	海洋面积	陆地面积
北半球	60.7%	39.3%
南半球	80.9%	19.1%
东半球	62.0%	38.0%
西半球	80.0%	20.0%

海洋不仅在面积上超过陆地,而且它的深度远超过陆地的高度。海洋的平均深度达 3729m,而陆地的平均高度仅 875m;大部分(约 75%)海洋的深度超过 3000m,而大部分(约 71%)陆地的高度不足 1000m。如果固体地球表面被夷平,它将被一层 2.44km 深的水层所淹没。虽然海洋的平均深度和陆地的平均高度差异悬殊,但是二者的极值却相近,如海洋最深处西太平洋的马里亚纳海沟深度为 11034m,陆地上的最高山峰珠穆朗玛峰海拔高度为 8848m。从最高山峰到最深海沟,垂直距离为 19882m,十分接近地球的赤道半径与极半径的差值(约 21000m)。

2. 陆地

地球上的陆地按其面积大小可分为大陆与岛屿。大块的陆地称大陆,小块的陆地称岛屿。全球的大陆共分为七大洲,它们是亚洲、欧洲、非洲、北美洲、南美洲、大洋洲和南极洲,各大洲的面积与平均高度见表 2-4。其中,欧洲与亚洲连在一起,统称为欧亚大陆。

表 2-4 各大洲的面积与平均高度

名 称	面积/ 10^6km^2	占全球陆地面积/%	平均高度/m
亚洲	44.4	29.8	950
欧洲	10.4	7.0	300
非洲	30.6	20.5	650
北美洲	22.0	14.8	700
南美洲	17.9	12.0	600
大洋洲	7.8	5.2	400
南极洲	15.6	10.5	2000
平均或合计	149.0	100.0	875

岛屿按其成因分为大陆岛、火山岛和珊瑚岛。大陆岛一般面积较大,地势较高,它们原是大陆的组成部分,后由于地层陷落或海面上升才同大陆分离。火山岛和珊瑚岛属海洋岛,前者由海底火山喷发物堆积而成,通常高度较大;后者大多分布在热带海洋中,由珊瑚遗骸堆积而成,面积小,地势低,且