

高等学校教学用书

Huanjing Kexue

DAOLUN

China University of Mining and Technology Press

环境科学导论

何康林 主编

Huanjing Kexue

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

X
H-453

高等学校教学用书

环境科学导论

主 编 何康林
副 主 编 裴宗平
编写人员 田立江 白向玉
 李多松 单爱琴

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

环境科学导论/何康林等编. —徐州:中国矿业大学出版社,2005.8

ISBN 7 - 81107 - 123 - 1

I. 环… II. 何… III. 环境科学—高等学校—教材 IV. X

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 082566 号

书 名 环境科学导论

主 编 何康林

责任编辑 孙建波

责任校对 孙 景

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> **E-mail:** cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 **印张** 18.75 **字数** 468 千字

版次/印次 2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

定 价 26.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

环境与发展是当今国际社会普遍关注的重大问题。人类在漫长的发展过程中,在改造自然和发展社会经济方面取得了辉煌业绩,但同时产生的环境问题对人类的生存和发展也构成了现实威胁。因此,保护和改善生态环境,实现人类社会的可持续发展,已成为全人类紧迫而艰巨的任务。本教材的目的就是介绍环境科学的基本理论、基本知识和基本技能,旨在培养大学生的环境保护和可持续发展意识。

环境科学是一门新兴的边缘学科。它是针对现今世界面临的重大生态环境问题而发展起来的,其发展速度很快,许多新概念、新思维、新方法不断涌现,有力地推动了本学科迅速发展。本教材力求反映环境科学的最新发展动态。

本书共分10章。第1章绪论,介绍环境问题的产生和发展、环境科学的研究内容和任务;第2章,介绍人口与资源和环境的关系;第3、4、5、6章分别论述大气环境、水资源和水环境、土壤环境和物理环境的污染机理及其控制技术;第7章论述生态学的基本原理;第8章论述环境法规、环境规划和环境管理;第9章介绍环境影响评价的基本方法和程序;第10章论述可持续发展的基本原理。

本书由何康林主编,裴宗平副主编,参编人员有田立江、白向玉、李多松、单爱琴。本书写作分工如下:第1章、第7章由何康林执笔;第2章、第4章、第8章第2节由裴宗平执笔;第3章、第6章由田立江执笔;第5章、第9章由白向玉执笔;第10章由李多松执笔;第8章第1节和第3节由单爱琴执笔。最后由何康林审查并修改定稿。

在本书编写和修改过程中,顾强教授提出了不少宝贵意见和建议,在此表示诚恳谢意。作者衷心感谢所有为本书审定、修改、出版付出了辛勤劳动的各位同志。

由于本书内容涉及领域广泛,加之作者水平有限,书中难免存在疏漏、错误和不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2005年6月

目 录

前 言	1
第 1 章 绪论	1
1.1 我们的地球	1
1.1.1 地球的形成和生命起源	2
1.1.2 地球上生命的演化	3
1.1.3 人类的进化	7
1.2 环境及其组成	8
1.2.1 环境的概念	8
1.2.2 环境的分类和组成	9
1.2.3 环境的功能和特性	10
1.3 环境问题和环境保护	11
1.3.1 环境问题的概念	11
1.3.2 环境问题的分类	12
1.3.3 环境问题的产生和发展	13
1.3.4 全球环境问题	16
1.3.5 环境保护	18
1.4 环境科学	24
1.4.1 环境科学的概念	24
1.4.2 环境科学的研究对象和任务	25
1.4.3 环境科学的研究内容和特点	25
1.4.4 环境科学的分支学科	25
思考题	26
第 2 章 人口与资源和环境	27
2.1 人口发展的历史	27
2.1.1 地球人口发展的历史	27
2.1.2 中国人口发展的历史	29
2.1.3 人口爆炸和人口危机	30
2.2 人口与资源问题	31
2.2.1 人口与土地资源	32
2.2.2 人口与水资源	36
2.2.3 人口与气候资源	37

2.2.4 人口与生物资源	40
2.2.5 人口与矿产资源	45
2.2.6 人类发展与能源	47
2.3 人类活动对生态环境的影响	51
思考题	52
第3章 大气环境	53
3.1 大气的组成和结构	53
3.1.1 大气的组成	53
3.1.2 大气的结构	54
3.2 大气污染和大气污染物	56
3.2.1 大气污染	56
3.2.2 大气污染物	57
3.2.3 几种主要的气态污染物	60
3.3 大气污染物的扩散和转化	64
3.3.1 大气污染物的扩散	64
3.3.2 大气污染物的化学转化	69
3.4 大气污染控制技术	73
3.4.1 大气污染的预防措施	74
3.4.2 大气污染的控制对策	77
3.4.3 大气污染治理技术	79
3.5 室内空气环境	88
3.5.1 室内空气环境状况	88
3.5.2 室内空气污染的主要污染源和污染物质	88
3.5.3 室内空气环境污染物及其控制标准	90
3.5.4 室内空气环境污染物与疾病的关系	91
3.5.5 室内空气环境污染的预防和控制	91
3.5.6 室内空气环境污染案例	92
思考题	93
第4章 水资源和水环境	94
4.1 地球上的水	94
4.1.1 水的形成	94
4.1.2 地球上水的分布	94
4.1.3 地球水循环	95
4.2 水资源	97
4.2.1 人类与水	97
4.2.2 水资源的基本涵义	99
4.2.3 世界水资源问题	101

4.2.4 水资源的开发、管理和保护	105
4.3 水灾害	111
4.3.1 洪水灾害	111
4.3.2 干旱灾害	115
4.4 水资源开发利用对生态环境的影响	116
4.4.1 大型水利工程的生态环境效应	116
4.4.2 地下水过度开采的影响	119
4.5 水污染	122
4.5.1 天然水的物质组成和化学性质	122
4.5.2 水体自净和水污染	124
4.5.3 主要的水污染源	126
4.5.4 主要水污染物及其环境效应	127
4.5.5 水体污染的特征	133
4.5.6 水污染控制的主要途径	136
思考题	137
第5章 土壤环境	138
5.1 土壤的组成和性质	138
5.1.1 土壤的基本结构和性质	138
5.1.2 土壤环境元素背景值和土壤环境容量	140
5.1.3 土壤在地球表层环境系统中的地位和作用	140
5.2 土壤污染	140
5.2.1 土壤污染的特点	140
5.2.2 土壤污染的类型	141
5.2.3 土壤污染物质	142
5.2.4 土壤污染的途径	142
5.2.5 土壤污染的危害和土壤净化	143
5.2.6 土壤污染程度的量化指标	143
5.2.7 污染物在土壤环境中的迁移转化过程	143
5.3 土壤污染的防治	145
5.3.1 控制和消除土壤污染源	145
5.3.2 采取相关措施修复被污染土壤	145
5.4 土壤侵蚀及其控制	146
5.4.1 水土流失	146
5.4.2 土地荒漠化	152
5.4.3 土壤盐渍化	153
思考题	154

第6章 物理环境	155
6.1 声音和噪声	155
6.1.1 声音和噪声	155
6.1.2 噪声的来源	155
6.1.3 噪声的危害	157
6.1.4 室内噪声污染的预防	160
6.2 声音的物理特性、量度和噪声标准	160
6.2.1 声音的物理特性	160
6.2.2 声音的量度	162
6.2.3 噪声标准	163
6.3 噪声的评价和控制	165
6.3.1 噪声的评价	165
6.3.2 噪声的控制	166
6.4 电磁辐射污染	169
6.4.1 电磁辐射和电磁辐射污染	169
6.4.2 电磁辐射污染的危害	169
6.4.3 电磁辐射污染的防治	170
6.5 放射性污染	171
6.5.1 放射性污染的概念	171
6.5.2 放射性污染的危害	171
6.5.3 放射性污染的防治	172
6.6 光污染	172
6.6.1 光污染及其来源	172
6.6.2 光污染的危害	173
6.6.3 光污染的防治	173
6.7 热污染	174
6.7.1 热污染的含义和来源	174
6.7.2 热污染的危害	175
6.7.3 热污染的防治	175
思考题	176
第7章 生态系统	177
7.1 生态系统概述	177
7.1.1 生态系统的基本概念和组成成分	177
7.1.2 生态系统的基本结构	179
7.1.3 生态系统的基本特征	180
7.1.4 生态系统的类型	181
7.2 生态因子及其生态作用	182
7.2.1 生态因子的概念	182

7.2.2 主要生态因子的生态作用	183
7.2.3 生态因子作用的一般特征	184
7.3 生态系统中的生物种群	185
7.3.1 种群的概念	185
7.3.2 种群的基本特征	186
7.3.3 种群增长规律	186
7.4 生态系统中的生物群落	187
7.4.1 群落的概念	187
7.4.2 群落的基本特征	188
7.4.3 群落的演替	189
7.5 生态系统的功能	190
7.5.1 生物生产	190
7.5.2 能量流动	192
7.5.3 物质循环	193
7.5.4 信息传递	195
7.6 生态平衡	196
7.6.1 生态平衡的概念	196
7.6.2 生态平衡失调	197
7.6.3 生态平衡的调节机制	199
7.6.4 生态系统的人工调控	200
7.7 生物多样性及其保护	201
7.7.1 生物多样性概念	201
7.7.2 生物多样性的价值和物种消失的危害	202
7.7.3 生物多样性的保护	203
思考题	204
第8章 环境法规、环境规划和环境管理	205
8.1 环境法规体系	205
8.1.1 中国环境法概论	205
8.1.2 环境法的实施	211
8.1.3 环境法律责任	211
8.1.4 我国环境法律制度概要	213
8.2 环境规划	214
8.2.1 环境规划的涵义	214
8.2.2 环境规划的作用和地位	215
8.2.3 环境规划与其他规划的关系	216
8.2.4 环境规划的原则	216
8.2.5 环境规划的基本任务和类型	217
8.2.6 环境规划的内容	219

8.3 环境管理	227
8.3.1 环境管理概述	227
8.3.2 环境管理的类型	229
8.3.3 环境管理的基本原理	229
8.3.4 环境管理的基本手段	231
8.3.5 环境管理的基本职能	233
8.3.6 环境管理机构	233
8.3.7 中国的环境管理	234
思考题	237
第9章 环境影响评价	238
9.1 环境影响评价概述	238
9.1.1 环境影响评价的概念	238
9.1.2 环境影响评价的重要性	238
9.1.3 环境影响评价的分类	239
9.1.4 环境影响评价的基本内容	240
9.1.5 环境影响评价在我国的应用和发展	240
9.1.6 环境影响评价的方法	241
9.1.7 环境影响评价的程序	242
9.2 建设项目的环境影响评价	243
9.2.1 建设项目环境影响评价的概念	243
9.2.2 建设项目环境影响评价的意义	244
9.2.3 建设项目环境影响评价的分类	244
9.2.4 建设项目环境影响评价文件的编制	244
9.3 规划的环境影响评价	247
9.3.1 规划环境影响评价的意义	247
9.3.2 规划环境影响评价的指导思想和基本原则	249
9.3.3 规划环境影响评价的特点	250
9.3.4 规划环境影响评价的类型	251
9.3.5 规划环境影响评价的技术路线和基本内容	251
9.3.6 规划环境影响评价报告(书)的编写	253
思考题	256
第10章 可持续发展	257
10.1 传统发展与环境问题	257
10.2 可持续发展概述	258
10.2.1 传统的发展观	259
10.2.2 可持续发展战略的深层次含义和必要条件	259
10.3 清洁生产与可持续发展	260

10.3.1	清洁生产的成因	260
10.3.2	清洁生产的定义	261
10.3.3	清洁生产的内容	262
10.3.4	清洁生产的特点	263
10.3.5	实施清洁生产的途径	263
10.3.6	清洁生产的推行	264
10.3.7	国内外清洁生产概况	266
10.3.8	清洁生产的意义	269
10.3.9	清洁生产与可持续发展	269
10.4	生态工业与可持续发展	271
10.4.1	生态工业的起源和理论基础	271
10.4.2	生态工业发展将促进循环经济发展模式的建立	272
10.4.3	推进生态工业建设是区域经济发展的必然选择	272
10.4.4	生态工业建设符合环境管理思想和方式的发展方向	272
10.4.5	生态工业的载体——生态工业示范区	273
10.5	循环型经济与可持续发展	273
10.5.1	循环经济产生的背景	273
10.5.2	循环经济的行动原理	276
10.5.3	循环经济的产业类型	278
10.5.4	循环经济的技术战略	280
10.5.5	循环经济的制度条件	282
	思考题	285
	参考文献	286

第1章 绪论

随着人类社会的发展,物质财富空前繁荣,人民生活水平得到极大提高,人类进入了高度发达的文明社会。全球化的通信网络,高度发达的信息技术,使人类从来没有生活得如此便利和富有。但是,这并非说明人类比以往任何一个时期都生活得更加舒适和惬意,人类在向自然界大肆索取的同时也受到了应有的报复。全球变暖,臭氧层遭破坏,物种被灭绝,生物多样性减少,有毒有害化学物品污染加剧,土地沙化,飓风肆虐……人类的生存环境正受到严重威胁。

这一系列变化,有自然原因,但在很大程度上说是人类自种的苦果。工业革命以后,人类以牺牲环境为代价,获得了工业的迅猛发展,从而带来经济繁荣。同时作为人类赖以生存的环境却受到了无情污染和破坏,人类的生存和发展正面临着危机。当然,人类总是不甘自我毁灭的,建设高度发达的文明社会正说明人类改造自然的能力和决心。环境科学的出现,标志着人类开始理性地关注与之休戚相关的自然环境。保护好我们的生存环境,创造更加美好的未来,是一项刻不容缓的艰巨任务。

要完成这样艰巨的任务,必须树立可持续发展观念,提高环境意识,增强保护和改善环境的责任感和自觉性,深刻理解人类发展与环境保护的辩证关系,注意人类经济活动和社会活动对环境变化过程的影响,掌握变化规律,提高对影响环境质量变化因子的识别能力,以系统化、全球化战略方针保护环境,促进经济、社会和环境的协调和可持续发展。

1.1 我们的地球

通过天文观测,天文学家已了解到,在宇宙像我们所处的银河系这样的星系大约有1 000亿个,每一个星系中又有约1 000亿颗恒星。而且,在每一个旋转着的星系内部还存在着并不断形成着高度稠密的中心,每个这样的中心又围绕着它的重力中心而收缩,这即是新星球的诞生地。

地球所处的银河系由1 000亿~1 500亿颗恒星组成,其形状像两片扣合在一起的钹。从一端到另一端距离约10万光年,从中心到边缘约5万光年,中心近似圆球的部分厚度约2万光年,周围较扁平的圆盘部分厚度约3 000光年。太阳系就位于这个扁平圆盘的外侧,距银河系中心约3万光年(图1-1)。而地球只是太阳系九大行星中的一颗

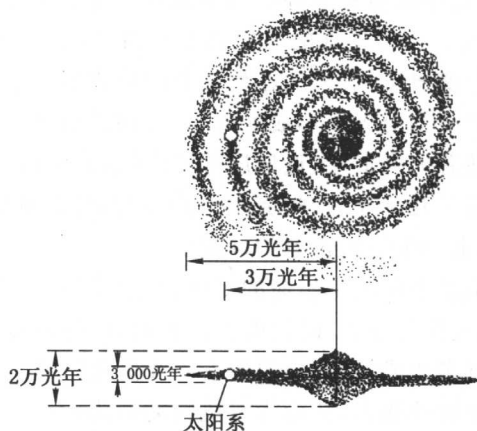


图 1-1 太阳系在银河系中的位置

不大的行星。可见,在无限宇宙之中地球只是沧海一粟。

1.1.1 地球的形成和生命起源

关于地球的形成,不同学者有不同的推理。其中一个假说即是“星云说”。按照“星云说”,原始星云不断收缩,中心部分形成太阳,外围部分由于惯性离心力作用,没有向中心集中而演化成星云盘。当太阳成为一颗恒星之后,在光热辐射和太阳风作用下,靠近太阳部分星云盘中的气体物质和冰物质逐渐跑掉,剩下的土物质只占原始星云含量的0.4%。在演化过程之中,通过某些机制作用,这些土物质逐渐合并增大成为星子;这些星子半径增大到1 000 m左右时,其质量便产生足够的吸引力;在引力作用下,这些星子互相合并形成半径更大的星子;大约经过1亿年左右时间,在靠近太阳区域形成了由土物质组成的密度和质量都很小的4个行星,地球就是其中之一。大约60亿年以前,地球刚从“太阳星云”中分化出来的时候尚没有明显轮廓,亦没有明显的分层现象。

到了45亿~47亿年以前,地球轮廓已初步形成。当时,环绕地球的原始大气圈中完全没有 O_2 , CO_2 也非常稀少,可能是一个由 H_2 、 CH_4 、 NH_3 和 H_2O 等组成的还原性大气圈。地球还不断地向外排出一些气体,主要成分为 CO 、 CO_2 和水蒸气等,这一过程称为出气作用或排气作用。水星、金星和火星这些类地行星(即包括地球在内的离太阳最近的这4颗行星)在其演化早期都经历过这一过程。有些学者认为这个过程在地球生命演化中起着很大作用,这是因为,一方面出气作用为大气圈增加了对生命至关重要的碳元素,另一方面出气过程还会造成一种“流体化”物理状态,即外溢气体与致密颗粒状固体相互作用,使固体颗粒微微升起,整个固体层向上扩张,呈现出某种流体特征。实验证明, H_2 和 CO 在使铁陨石粉流体化过程中,能产生许多碳氢化合物,包括脂肪族、芳香族和异戊二烯。有人推测,现在发现的碳质球粒陨石中的有机物就是由类似的过程合成的。也就是说,这种流体化过程有可能是实现由无机物向有机物转化的途径之一。

然而,在地球形成早期,原始大气圈对太阳辐射的屏蔽作用很微弱,强烈辐射直达地表,频率高达22 Hz,其威力足以毁灭一切生命。如果不是由于后来出现了某种防护和调节作用,地球上的生命根本就无从发生。

这种作用的第一个阶段是水的出现。尽管其机制尚不清楚,但有地质学证据说明,至少在38亿年以前在某种作用下地球出现了水,因为现在发现地球上最古老沉积岩的年龄约为38亿年。当时地球的温度仍然很高,处于一种近乎熔融的状态,加之强烈的太阳辐射,使水分完全变成蒸汽,从而在地球上空形成射线难以穿透的浓云。在云层屏蔽下,地表温度逐渐下降并冷却凝固而形成地壳,其互相挤压而产生折皱和断裂,但地球内部仍处于炽热熔融状态。随着地壳形成,近地层气温降低,云中的水蒸气冷凝成水,地表面开始出现降雨,倾盆大雨连续了几千年,使地壳进一步冷却,洼地和鸿沟都充满了水,于是产生了海洋——生命的摇篮,也产生了最古老的沉积岩。

第二个阶段是生命的诞生,大约从30亿年前开始。当时由于地表坚硬地壳形成,温度降低,蒸发作用减弱,降雨变得时断时续。流水作用把各种悬浮物和溶解物质带到海洋中,使海水含有多种成分,其中包括有4个价键的碳元素。它具有同其他元素相结合而形成链状和环状化合物的能力,从而为有机物的形成创造了物质前提。

至于生命究竟是如何从原始海洋中产生的有很多假说,迄今为止学术界并没有一个定论。其中有一个假说是“生命地球诞生论”。该假说认为,地球上的生物是由简单的无机化合

物进化而来的。这种观点现在已被许多学者接受。恩格斯在《反杜林论》中曾指出：“关于生命的起源，自然科学到目前为止能够明确地断定的只是：生命的起源必然是通过化学的途径实现的。”1928年，德国化学家维勒(F. Wöhler)用无机物氰酸铵制成草酸和尿素，打破了无机物和有机物之间的人为界限。1953年，美国学者米勒(S. L. Miller)和尤里(H. Urey)首次模拟地球原始大气成分，用甲烷、氨、氢和水蒸气，通过火花放电合成了11种氨基酸，其中有4种是天然蛋白质的组成部分——甘氨酸、丙氨酸、门冬酸和谷氨酸。此后，其他学者又实现了更多有机物在模拟条件下的合成，如嘌呤、嘧啶碱基、核糖与脱氧核糖、核苷酸、脂肪酸、卟啉和菸酰胺等。这些实验和前述流体化过程均证明了生命起源的化学机制作用，证明了从无机物转化为简单有机物不仅完全可能，而且也是地球历史发展的必然产物。

然而，上述实验尚未能证明这些氨基酸是怎样进一步演化和发展成为生命的。生命的诞生至少要有2 000个酶，这些酶又是成百上千个氨基酸按一定规律组合而成的。在原始海洋中靠偶然碰撞要把它们组合到一起，有人计算过其成功的概率仅为四万分之一。

生命起源的另一个假说是“天外来客”。早在1908年，瑞典化学家阿伦纽斯(S. Arrhenius)就提出“宇宙生命论”，即宇宙传播说，认为生命“胚种”是借助陨石或光压而从宇宙空间传播到地球上的。到了20世纪80年代，英国剑桥大学理论天文学院创始人弗雷德·霍伊尔(他因对天文学的杰出贡献而荣膺爵士衔)又以新的论据重新提倡生命的宇宙起源假说。他在《聪慧的宇宙》一书(1983年伦敦出版)中提出了生命并非偶然在地球上出现而是在一种创造性智慧引导下从太空来到地球上的假说。他引证了许多天文学上的新发现，例如许多陨石上都含有大量微型球状碳粒，而这些碳粒有可能是孢子或细菌转化而成的。他同时指出，星际粒子同细菌的大小极其相似。1981年日本天文学家对彗星观察也发现彗星粒子同细菌的大小完全相同。同年，美国天文学者也指出，彗星粒子同有机物所释放的辐射光完全一样。后来，在金星、木星和水星的大气层中均发现了与细菌相似的粒子。根据这些事实，人们有理由提出这样的问题——像彗星那样的天体是否会把带有生命的粒子带到地球上来呢？有人甚至提出了更大胆的假设——几十亿年以前来自天外的文明宇宙飞船溅落在地球原始海洋上，来自太空的生命种子就被接种到了地球上，从此开始了地球生命的演化。这种天外起源的假说看起来很诱人，但其中仍然存在着致命弱点：它并未从根本上回答生命起源的问题。如果地球上的生命起源于天外，那么天外的生命又是怎样起源的呢？

1.1.2 地球上生命的演化

尽管生命起源的真谛仍有待探讨，但是南非岩石中所发现的30亿年以前的细菌化石已提供了确凿证据，证明至少从那时起地球上已经存在细菌。生命起源的时间还可能更早一些，大约40亿年以前即开始了地球的生命时代。有生命的细菌和蓝藻等生物的出现开始了一种新的生命过程——光合作用，使大气圈中出现氧气(O_2)，以后又逐渐形成能抵御紫外线辐射的臭氧(O_3)层，为更高级生物的出现创造了环境条件。

此后，生物进化的化石证据逐渐丰富起来。上述细菌化石已具有简单的分裂作用，美国加利福尼亚州东部发现了距今20亿年的更为进化的原始细菌化石，并发现有类似于藻类的生物，其内部已含有细胞核。当时，含氧的大气圈开始形成。又经过10亿年进化，至距今10亿年以前，即中元古代结束晚元古代开始之时(表1-1)，在温暖的海岸和河口地带类似海藻的生物大量繁殖，通过光合作用放出大量氧气。

迄今所发现最早的多细胞生物是在澳大利亚爱迪阿加拉山脉发现的蠕节虫化石，距今

表 1-1 地质年代表

代	纪	世	距今年龄(百万年)	主 要 现 象
新 生 代	第四纪	全新世	0.01	
		更新世	2	冰川广布,黄土生成
	第三纪	上新世	12	第三纪山系形成
		中新世	25	地势分异显著
		渐新世	40	哺乳类动物分化
		始新世	60	被子植物繁盛
		古新世	65	哺乳动物大发展
中 生 代	白垩纪		140	海侵扩大,火山活动强烈,生物界变化显著
	侏罗纪		190	爬行动物兴盛,大煤田生成
	三叠纪		230	陆地扩大,爬行动物发育,哺乳动物出现
古 生 代	二叠纪		280	陆地增大,生物变化明显
	石炭纪		350	珊瑚礁发育,爬行动物出现,森林广布,煤田形成,地势差异大
	泥盆纪		400	鱼类极盛,两栖类出现,植物登陆
	志留纪		440	地势与气候变化大,造山运动强烈
	奥陶纪		500	海水广布,无脊椎动物大量发育
	寒武纪		570	浅海扩大,生物大量发育
元 古 代	晚元古代	震旦纪	1000	冰川广布,蠕节虫化石(距今 7 亿年),被囊动物化石(距今 6 亿年)
	中元古代		1800	火山活动强烈,真核细胞(距今 12 亿年)
	早元古代		2500	燧石藻(距今 20 亿年)
最古老的沉积岩			3 800	
地球形成			4 600	原始细菌(<i>Eobacterium</i>)化石(距今 30 亿年)
地球形成初期			6 000	

(资料来源:黄润华等:《环境学基础教程》,高等教育出版社 1997 年版)

7 亿年,属震旦纪中后期。当时虽然已经存在不少生物,但因其身体缺乏坚硬部分,因此保存下来的化石很少。

到了大约 5.7 亿年以前,即寒武纪开始之时,全球发生大规模海侵,陆缘浅海分布广泛,生长着大量浮游生物,同时无脊椎动物兴盛,其中属于节肢动物的三叶虫种类最多,占寒武纪海洋动物已知种类的 70%。此外还有水生腕足类贝壳动物生长于海底。化石的大量出现开始了地球史上的化石记录时代。这时文献资料尚无脊椎动物存在的记载。1985 年我国地质学家发现距今 6 亿年的被囊虫化石,它已开始向脊椎动物进化。这一发现把脊椎动物的历史上溯了 1 亿年。

奥陶纪(距今 4.4 亿~5.0 亿年)无脊椎动物大量发育,但三叶虫的相对比例急剧下降,腕足类增加,笔石明显增多。更为主要的地质事件是脊椎动物出现,发现了用空气呼吸的七鳃鳗和八目鳗。

志留纪(距今 4.0 亿~4.4 亿年)出现珊瑚礁。由于大气臭氧层的保护作用,地球上发生了生命史上的又一次飞跃——生命登陆。发现了最原始的陆生植物顶囊蕨(*Cooksonia*)化石,距今约 4.5 亿年。这些最早的陆生植物可能是从河口沿着河流上溯而登陆的。

泥盆纪(距今 3.5 亿~4.0 亿年)珊瑚礁达到鼎盛期,海洋腕足类也达到其多样性顶峰。陆地上开始出现森林,蕨类植物刚登上陆地时个体较小、无叶,只限于阴湿处生长,但泥盆纪末期已进化成繁茂大树,最高者可达 10 m。林中出现昆虫并从无翅发育至有翅类。脊椎动物开始分化,一支成为用鳃呼吸的鱼类,鳞片开始发育;另一支仍属鱼类,但已向两栖类进化,成为介于鱼类和两栖类之间的物种。

石炭纪(距今 2.8 亿~3.5 亿年)发生第二次海侵,雨量增多,河流侵蚀作用加强,许多大河河口形成巨大三角洲,在间歇性沉降地区沼泽森林中泥炭不断沉积并被沉积物掩埋,形成大的煤炭聚集地。其中的植物化石表明,除了原有蕨类和灌木外,树木的种类增多。陆地上有些昆虫发育成巨大个体,蜗牛大量增加。以栖息在陆地为主的两栖类发育成最初的爬行类,日后进化为恐龙并在动物界居统治地位。在浅水的边缘海中,属于棘皮动物的海百合在数量上和种类上均发生了空前爆发性增长。

二叠纪(距今 2.3 亿~2.8 亿年)首次出现恐龙,但个体仍然很小,无法和之后的巨兽相比较。同时,在软体动物门头足纲中出现了菊石。二叠纪的重大地质事件是一些物种的大规模灭绝——两栖类灭绝约 75%,爬行类灭绝约 80%,同时急剧减少的还有苔藓虫、棘皮动物、菊石和腕足类等。其中苔藓虫虽免于完全灭绝,但已大伤元气,此后再也未能恢复,三叶虫则从此消失了。二叠纪生物物种大规模灭绝有可能是由于海洋的脱盐作用造成的,这种作用多发生在陆缘浅海盆地中。强烈的蒸发作用浓缩了海水,而海盆外缘的海底山脊阻止了外海海水与之混合。据现代估算,该时期可能有多达 50 万 km³ 的海水被蒸发,留下了巨大的盐类沉积,一些不能忍受盐度长期大幅度变化的生物物种遂灭绝。二叠纪末陆地植物也灭绝得相当多,但却难以用海水盐度的变化来加以解释。

三叠纪(距今 1.9 亿~2.3 亿年)劫后余生的物种重新发育。陆地上出现了针叶林,林下奔跑着恐龙,个体已比较大,部分为草食兽,部分为肉食兽,它们形如现今的袋鼠,前肢短小后肢长大,长于奔跑但不能跳跃。海洋中残存的菊石和状若鱿鱼的近亲笔石大量繁殖,成为海洋中爬行动物的主食。其时在生态上有重要意义的发展是软体动物门瓣鳃纲的一些蛤类发育了硬化外壳和伸长的呼吸管,这一变化使其可以钻入海底沉积物中,占据原先只有软体动物才能生存的小生境,使软体动物在海洋无脊椎动物中占优势。三叠纪初在地史上的重大事件是“大陆漂移”开始。图 1-2 表示 2.25 亿年以前开始的这个过程。大陆漂移以前,存在着一个联合古陆(又称泛古陆)和世界洋,联合古陆东面是三面被该古陆包围的特提斯海(古地中海)。至三叠纪末联合古陆开始分裂,北半球部分称为劳亚古陆,南半球部分称为冈瓦纳古陆。以后这两个古陆继续漂移并且进一步分裂和拼接,逐渐形成现代的面貌。

侏罗纪(距今 1.4 亿~1.9 亿年)开始出现哺乳动物。爬行类向哺乳类的进化开始于二叠纪并于三叠纪继续进行,到侏罗纪最终完成这一进化。哺乳类这时并未占优势,居统治地位的仍是恐龙,其种类很多,有的个体很大,如古爬行动物雷龙(*Brontosaurus*)可长达 22 m,生活在沼泽中,以植物为食。陆地上生长着许多常绿树种,昆虫明显增多,包括像蛾和蝇这样高度特化的类型。海上菊石极丰富且演化迅速,成为划分地层极好的标准化石。箭石同样丰富,是海上鱼龙的主食。这时期动物对空气产生了两种适应性:其一是翼龙,能以膜状翼飞

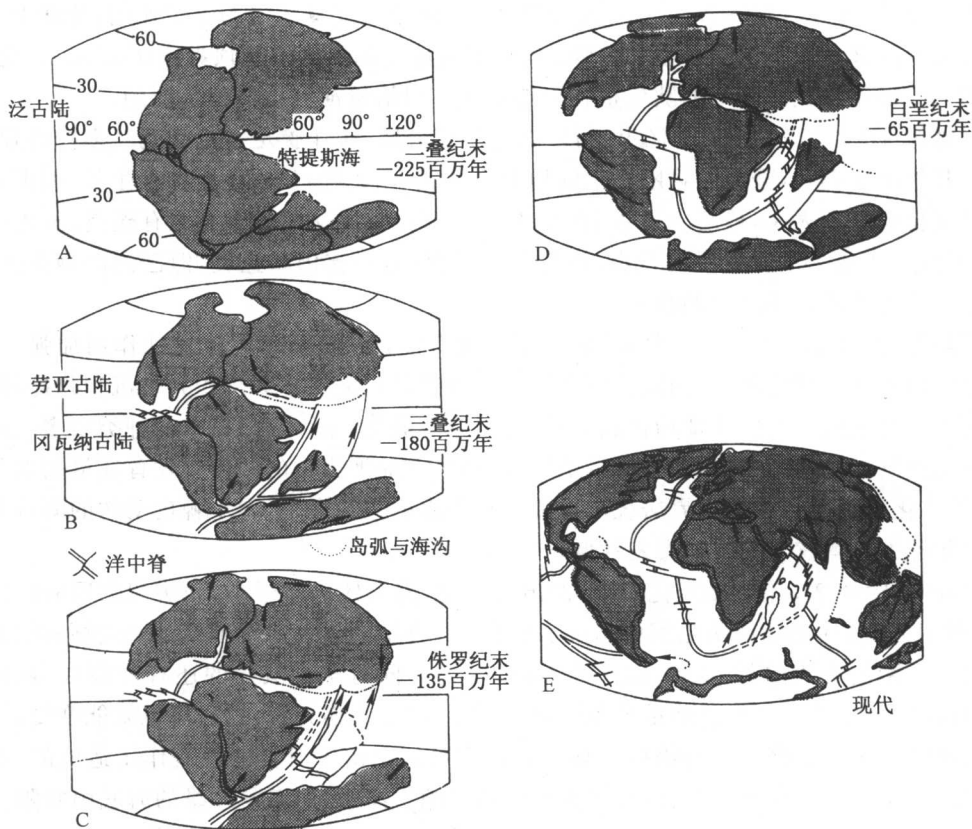


图 1-2 大陆漂移的五个阶段

图中箭头示板块运动的方向

(资料来源:黄润华等:《环境学基础教程》,高等教育出版社 1997 年版)

翔,或者更可能像今天的蝙蝠一样滑翔;其二是真正的鸟类,原先鳞状覆盖层逐渐演化成羽毛并发育了五趾翼,更适于起飞和飞行。

白垩纪(距今 0.65 亿~1.4 亿年)发生第三次大海侵,海洋中无数细小的固钙生物遗体的沉积形成了白垩岩。浅海中棘皮动物演化迅速,成为详细划分白垩纪地层的理想化石。陆地上开始出现有花植物,后来把无花植物排挤到无足轻重的地步。为花朵授粉的昆虫随之出现,鸟类也有较大发展。恐龙中产生了有角和甲冑的素食的三角恐龙和魁伟凶猛的肉食猛龙(*Tyrannosaurus*)。这时出现了人类的远祖灵长类,具有对立的拇指。还出现了有袋哺乳类,它们是现代有袋类动物(如袋鼠和负鼠)的祖先。白垩纪以生物又一次大规模灭绝而告结束,其中众所周知的是恐龙的灭绝。这个巨大家族统治了动物界长达 1.6 亿年。同期灭绝的还有海洋动物中的笔石、箭石和菊石,它们在二叠纪末的上一次物种灭绝中曾大量减少过,但在随后的 1.3 亿年中又极为兴盛,到白垩纪末遂完全灭绝。这些物种大规模灭绝的原因现仍是一个谜。

第三纪是指地史上最近的 6500 万年,哺乳类动物上升到统治地位。化石记录表明,许多哺乳动物的个体都有大型化趋势。例如始祖马(*Hyracotherium*)5800 万年前平均身高只有 25 cm,像今天的小狗和狐狸;人类和大猩猩的远祖在 600 万年前也只有像老鼠一样大,但是