

21世纪高等院校教材

石油与天然气 有机地球化学

陈义才 沈忠民 罗小平 编著



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

石油与天然气有机地球化学

陈义才 沈忠民 罗小平 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要阐述石油与天然气有机地球化学的基本原理及其在勘探中的应用。全书共分9章,包括以基础理论为主的沉积有机质的演化、干酪根地球化学、油气生成与演化模式、天然气地球化学、石油的化学组成和生物标志化合物等6章,第7章与第8章主要介绍油气源对比、烃源岩评价的原理和方法。第9章介绍当前油气有机地球化学常用实验分析技术原理及应用。

本书可作为高等院校石油地质、地球化学、油藏工程、地球物理等专业的教材或教学参考书,也可供相关专业的研究人员和生产人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油与天然气有机地球化学/陈义才,沈忠民,罗小平编著. —北京:科学出版社,2007

21世纪高等院校教材

ISBN 978-7-03-020219-2

I. 石… II. ①陈…②沈…③罗… III. ①石油-有机化学-地球化学-高等学校-教材②天然气-有机化学-地球化学-高等学校-教材 IV. P618.13

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第151605号

责任编辑:郭 霖 王新玉 / 责任校对:赵桂芬
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年10月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007年10月第一次印刷 印张:18

印数:1—3 000

字数:337 000

定价:28.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

石油与天然气有机地球化学是应用化学原理研究地质体中的有机质、石油、天然气及其次生产物的组成、结构、性质和分布,阐述石油与天然气形成、演化和运聚的有机地球化学机理,并用这些知识指导油气勘探与开发的一门应用学科。石油与天然气有机地球化学是有机地球化学的重要分支,是由地质学、有机化学和生物学相互交叉渗透而形成的新兴边缘学科。它以沉积岩的有机质为主要研究对象,是研究油气成藏、分布规律和评价油气资源前景的重要原理和方法。作为有机地球化学的重要分支,石油与天然气有机地球化学促进了石油有机成因理论的极大发展,并在油气勘探和远景评价中获得了很大的成功,成为油气勘探中的三大基础理论之一。

本书以烃源岩、干酪根和油气为中心对象,阐述了当前石油与天然气有机地球化学的基本原理及其在勘探中的应用。全书共分9章,包括基础理论、方法原理和实验技术与应用等内容。本书是在系统总结现有教材内容和认真研究国内外油气地球化学家的理论与实践基础上编写的。在本书的章节和内容编排上,尽量突出基本知识、基本理论、基本研究方法及其与其他学科的关系,以求有利于打好基础,拓宽知识面;同时注重理论联系实际,将基本原理及其在油气勘探开发中的应用有机地结合起来。本书具有以下特色:

1) 内容全面、重点突出

从阐述沉积有机质的演化、干酪根地球化学和油气生成与演化模式,到介绍生物标志化合物结构特征,并且通过介绍油气源对比和烃源岩评价原理以及实际应用,进一步强化了烃源岩、干酪根和油气三者之间的关系。本书不仅可作为高等院校石油地质、地球化学、油藏工程、地球物理等专业的教材或教学参考书,也可供相关专业的研究和生产人员参考。

2) 理论方法与实际应用密切结合

针对目前石油有机地球化学课程在资源勘查工程专业培养体系中作用,在阐述有关基本原理和方法的基础上,比较详细地介绍了石油有机地球化学中常用的指标与使用条件,使学生在建立有机地球化学知识框架的同时,通过阅读本书又能够在实际工作中得到有效的指导。

3) 体现了新兴的交叉学科的特点

本书在干酪根的结构、油气生成演化机理、生物标志物的应用与分析测试手段等方面吸收了近十几年来国内外的新理论、新成果以及新方法，并反映了石油有机地球化学研究发展的现状。

本书大纲的初稿由成都理工大学能源学院沈忠民执笔，经石油地质教研室石油有机地球化学教材编审小组讨论后，由陈义才、沈忠民、罗小平分工编写详细提纲并执笔完成。全书由陈义才（主编）统一修改，沈忠民审核。本书各章节的具体分工为：绪论和第5章的5.1~5.3节由沈忠民编写，第9章由罗小平编写，其余章节由陈义才编写。本书在编写过程中得到西南石油大学戴鸿鸣、王顺玉、李延钧、陈世加、林峰等教授和专家的帮助，成都理工大学能源学院张梢楠、伊向艺、李国蓉、王安发等给予了大力支持，刘四兵、潘泉涌、汪巍为本书绘制了大量图件，在此表示衷心感谢。

本书虽然经过多次修改和校核，但由于编者水平有限，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

2007年6月

目 录

前言

第 1 章 生物的化学组成及沉积有机质	1
1.1 生物圈的演变	1
1.1.1 生物圈的概念	1
1.1.2 生物圈的演变特征	1
1.1.3 主要生物类型的演化及其对沉积有机质的贡献	3
1.2 有机碳的地球化学循环	6
1.2.1 有机圈的概念	7
1.2.2 有机碳的地球化学循环系统	7
1.3 生物有机质的化学组成	9
1.3.1 碳水化合物	10
1.3.2 脂类	11
1.3.3 蛋白质	14
1.3.4 木质素	14
1.3.5 色素	15
1.3.6 生物的平均组成	16
1.4 沉积有机质的形成	18
1.4.1 沉积有机质的概念和分类	18
1.4.2 沉积有机质的来源	20
1.4.3 影响沉积有机质丰度的主要因素	22
1.4.4 不同环境中有机质沉积特征	24
1.5 沉积有机质的埋藏与演化	29
1.5.1 生物化学作用	29
1.5.2 化学作用	33
1.5.3 沉积有机质在成岩作用阶段的演化特征和演化结果	38
第 2 章 干酪根	39
2.1 干酪根的概念及性质	39
2.1.1 干酪根的概念	39
2.1.2 干酪根的性质	40

2.2	干酪根的显微组分特征	41
2.2.1	显微组分分类	42
2.2.2	主要有机显微组分特征	43
2.3	干酪根的类型	47
2.3.1	干酪根的元素组成分类	47
2.3.2	干酪根的显微组分分类	50
2.3.3	热解色谱分类方法	50
2.3.4	分类方法讨论	52
2.4	干酪根的结构及研究方法	54
2.4.1	干酪根结构研究的含义	55
2.4.2	干酪根结构的研究方法	55
2.4.3	干酪根结构的综合化学模型	66
第3章	油气生成与演化模式	72
3.1	油气生成演化的研究方法	72
3.1.1	烃源岩自然演化剖面	72
3.1.2	人工热压模拟实验	74
3.2	干酪根性质的热演化特征	76
3.2.1	元素组成的变化	76
3.2.2	基团结构的变化	78
3.2.3	自由基浓度	78
3.2.4	镜质体反射率	79
3.2.5	有机质颜色及荧光性的变化	80
3.3	油气生成的影响因素	81
3.3.1	有机质组成与性质	81
3.3.2	地层温度与埋藏时间	82
3.3.3	地层压力	84
3.3.4	矿物基质	85
3.4	有机质成烃演化模式	86
3.4.1	干酪根结构热演化与成烃的化学机理	86
3.4.2	油气生成演化的一般模式	87
3.4.3	不同类型干酪根的生烃模式	90
第4章	天然气地球化学	100
4.1	天然气类型	100

4.1.1 天然气的起源	100
4.1.2 天然气的分类	103
4.2 天然气组成与非烃类气体的成因	111
4.2.1 气体组成特征及其影响因素	111
4.2.2 非烃气体组成及其成因	114
4.3 天然气成因类型综合判识	117
4.3.1 天然气成因类型的判识标志	117
4.3.2 不同成因类型天然气的综合判识	126
第5章 石油的化学组成	134
5.1 石油的元素组成和馏分组成	134
5.1.1 石油的一般性质	134
5.1.2 石油的元素组成	135
5.1.3 原油的馏分组成	137
5.2 石油的族组成	138
5.2.1 烃类组成	138
5.2.2 非烃组成	141
5.2.3 胶质和沥青质	143
5.3 石油的组成类型	145
5.4 影响石油化学组成的主要因素	146
5.4.1 有机质的类型	146
5.4.2 有机质的热演化程度	147
5.4.3 油气运移的影响	148
5.4.4 油气成藏的后期的次生变化	149
第6章 生物标志化合物	154
6.1 概述	154
6.1.1 概念	154
6.1.2 生物标志化合物的立体化学及命名	156
6.2 生物标志化合物的类型	161
6.2.1 正构烷烃	161
6.2.2 无环异戊二烯类烷烃	163
6.2.3 萜烷	165
6.2.4 甾烷	169
6.2.5 甾烷、萜烷的图谱识别	174

6.3 生物标志化合物的应用	182
6.3.1 母源输入和沉积环境	182
6.3.2 确定时代	187
6.3.3 成熟作用	187
6.3.4 生物降解	190
6.3.5 油气运移	190
6.3.6 油气源对比	192
第7章 油气源对比	193
7.1 油气源对比原理与方法	193
7.1.1 油气源对比的依据	193
7.1.2 油气源对比指标的选择原则	194
7.1.3 油气源对比方法	196
7.2 气源对比	199
7.2.1 天然气的组成	199
7.2.2 稳定碳同位素	200
7.2.3 天然气浓缩轻烃	201
7.3 油源对比	205
7.3.1 不同成因类型的油源对比	205
7.3.2 同源不同期次的油源对比	209
第8章 烃源岩评价	211
8.1 烃源岩有机质丰度	211
8.1.1 烃源岩和有效烃源岩的概念	211
8.1.2 有机碳含量	212
8.1.3 氯仿沥青“A”	218
8.1.4 总烃	218
8.2 有机质的类型	219
8.2.1 干酪根类型的研究	219
8.2.2 沥青组分类型研究	222
8.3 有机质的成熟度	224
8.3.1 干酪根成熟度指标	225
8.3.2 可溶有机质的成熟度指标	229
8.3.3 生物标志化合物显示的成熟度指标	231
8.4 烃源岩的生烃能力综合评价	231

8.4.1 成因体积法估算生烃量	231
8.4.2 化学动力学法估算生烃量	234
8.4.3 生烃能力综合评价	241
第9章 油气有机地球化学实验技术	244
9.1 石油天然气有机地球化学样品取样方法	244
9.2 基础地球化学分析	245
9.2.1 岩石中有机碳分析	245
9.2.2 岩石热解 (Rock-Eval) 分析	247
9.3 可溶有机地球化学分析技术	249
9.3.1 岩石中氯仿沥青“A”的抽提技术	249
9.3.2 原油与氯仿沥青“A”族组分分析技术	251
9.3.3 气相色谱分析技术	253
9.3.4 生物标志物色谱-质谱分析鉴定技术	258
9.4 不溶有机质分析技术	261
9.4.1 烃源岩的干酪根制备和提纯技术	261
9.4.2 干酪根显微组分镜下鉴定技术	262
9.4.3 镜质组反射率测定技术	264
9.4.4 有机元素分析技术	265
主要参考文献	267

第1章 生物的化学组成及沉积有机质

沉积岩内的有机物质及其衍生物是石油与天然气有机地球化学的主要研究对象。沉积有机质源于生物及其代谢产物。除水以外，生物主要由五种组分组成，即脂类化合物、蛋白质、碳水化合物、色素和木质素。此外，尚有为数不多但却具有实际意义的物质，如维生素、丹宁、树脂、核酸等。

沉积有机质在沉积、埋藏过程中，由于地层温度、压力的作用将发生一系列的变化，但在其演化生成石油以前，在一定程度上仍保留着原始有机体的化学组成和结构。所以，仍然可以根据有机体的生化组成对它进行分类和研究。因此，研究有机体各主要组分的化学组成、化学性质、生化特征以及可能的演化途径是石油与天然气有机地球化学的内容之一，它对于阐明沉积有机质演化成油的机理，研究沉积盆地内烃源岩地球化学特征具有重要的意义。

当前，石油与天然气有机地球化学的研究已经进入到分子级水平，因此了解、掌握、熟悉有关有机地球化学和生物化学的一般知识，对于深入认识成烃母质的化学组成及其差异，弄清生物标志物的来源特征以及探讨油气生成过程中的地球化学过程和作用，都是十分重要的。因此，本书将简要介绍活的生命有机体的主要化学组成。

1.1 生物圈的演变

1.1.1 生物圈的概念

地球上广泛分布着各种生物；但其发育有一定的范围。生物的活动仅限于地球外圈，包括接近地表的大气圈、地壳表面薄层和水圈，合称为生物圈。生物圈中生物分布的最大高度和最大深度为其上限、下限。上限究竟有多高，目前尚无确切的资料，决定于有无水分和短波辐射量的大小。无水或短波辐射量大时生物都不能生存。生物圈的下限，在海洋中可达深海，在陆地上可达有水分而温度不超过100℃的地方。显然，生物圈跨越地壳上的大气圈、水圈和岩石圈，是地球上最大的生物群落环境。凡是有生物活动的地方就必然有营养物质、代谢物质、分解物质和生物残骸等，从而造成有机质在地壳上的广泛分布。

1.1.2 生物圈的演变特征

在地球发展的过程中，生物圈经历了由低级到高级、由简单到复杂、由单一

到多样的演化过程。

关于生命起源,大多数学者接受原苏联奥巴林提出的异并假说。这一学说认为,生命是由无机物经过一系列阶段慢慢演化而来的。最早的是异养生物。由这种异养生物逐渐发展演变为行光合作用的自养生物,进一步发展演化出各种生物。

图 1-1 是生物化学家对生物进化学理解的略图。它概括了构成生物的有机分子、碳水化合物从氨气(NH_3)、甲烷(CH_4)、二氧化碳(CO_2)和水(H_2O)等演化为生物和地壳上生物由简单到复杂的演变规律,其表现有如下几个特征:

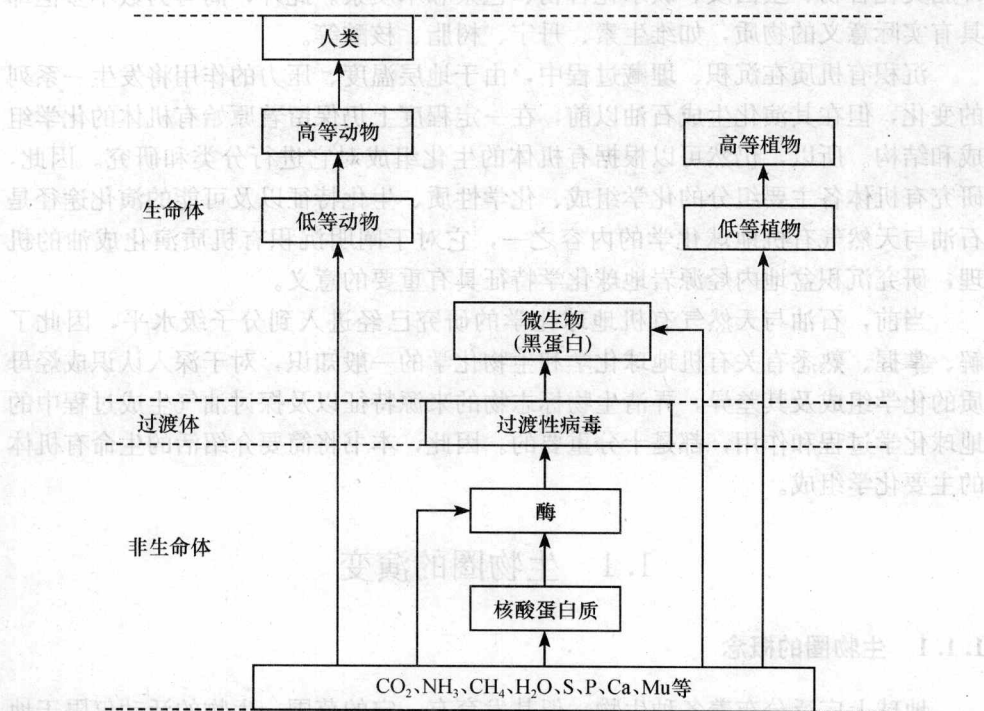


图 1-1 生物发展阶梯 (Feason, 1945)

首先是原始异养生物到自养生物的演化,从而使无氧呼吸(发酵)发展到有氧呼吸,为食料的供给和向高级生命形式的发展奠定了基础。当原始的异养生物,将最初由非生物作用产生的有机物质消耗殆尽之后,就无法维持生存,而逐渐为自养的、自行光合作用的生物所代替。光合作用的结果,使大气中有了游离氧,还原性的大气圈逐渐向氧化性大气圈转变。大气中的游离氧改变了整个生态环境,对只适应无氧环境的原生物起一定的破坏作用,通过变异和选择,生物进化到有氧呼吸,大大提高了其新陈代谢的效能,为生物进步发展提供了有利条件。

其次,生物的演化是从原核到真核以及此后从无性生殖到有性生殖的发展。从原核到真核是生物由简单到复杂的转折点。一切高等的多细胞生物都是以真核细胞为基本单元的。真核生物的发育推动了生物的其他三大进化:①有性生殖的出现,大大提高了生物的变异性和适应性;②动植物的分化,形成动物、植物、菌类三级生态系统;③从单细胞到多细胞的发展,使生物机体复杂化。

动植物的分化是生物演化的第三个特征,也是生物区系和生态系统上的最大演变。从此以后,生物进化在植物、动物和菌类三级系统的基础上进行。最早原始动物的出现大约在10亿年前,进入古生代,动物化石数量突然惊人地增加,包括腕足类、腹足类、三叶虫等达1200多种,生命演化到了相当高级的程度。

生物演化的第四个特征是从水生发展到陆生。最初的生命产生于水中,而且在很长时期内仅停留在水中。直到奥陶纪,陆地淡水中才开始出现鱼形动物;志留纪开始出现陆生高等植物;到泥盆纪,各种类型的陆地植物才普遍繁殖。

最后,人类的出现是生物演化的最重要的特征。

生物的进化是沿着多样性和适应性发展的,高等生物的产生,并不意味着低等生物的完全消灭,而是新的生物群遇到新的环境,发生适应性辐射,按许多方向进化,形成许多不同的物种。

生物圈的演化过程与地球的地质历史密切相关。在整个地质历史中,植物群的演化总是先于动物群一步。首先是植物群出现了新的形态体系,随后动物则陆续出现。在古生代早期,当藻类在生物圈中占优势时,只有少数的海洋无脊椎动物存在,在那个时期,低等植物生产率大量过剩,因此形成大量富含有机质的暗色海相页岩。它们是寒武纪、奥陶纪和志留纪时的“正常”广海沉积物。

志留纪以后,在广海环境中,植物的生产和消耗植物的动物群之间达到了平衡。因而,植物产率过剩现象就停止了。晚志留世海洋植物群和动物群的整个演化情况,与先前的海洋演化情况似乎没有很大的不同。在晚志留世和泥盆纪时,陆地植物在大陆占优势,海洋有机质的产率优势开始慢慢地消失,并一直延续到海岸地区;而在近海盆地,多发现于晚古生代的含煤沉积。

在古生代末期,裸子植物出现并占优势,尤其是早白垩世时,适应性强而占优势的被子植物出现,导致植物过剩的产率转移到大陆地区。白垩纪和第三纪时大量含煤沉积形成于内陆盆地,证明了这种转移。

1.1.3 主要生物类型的演化及其对沉积有机质的贡献

为了探求生油气母质的来源,对于生物发育特征和演化规律的研究仍着重于了解各类生物在漫长的地质历史时期中,随着它们的演化,其数量和产量所发生的变化,以及它们对形成沉积有机质的贡献。

据蒂索(Tissot)等对生物圈的演化过程与地球的地质历史相关性的研究认

为, 从前寒武纪到泥盆纪, 有机物质的主要来源是海洋浮游植物。从泥盆纪开始, 所增加的主要来源是陆地高等植物。从数量上看, 形成沉积有机质的四种最重要的生物是: 浮游植物、浮游动物、高等植物和细菌。现分述如下:

1. 浮游植物

浮游植物可能始终是世界上有机碳的主要来源之一。约在 20 亿年以前的前寒武纪, 主要是蓝绿藻和行光合作用的细菌产生有机碳, 经过寒武纪、奥陶纪、志留纪, 各种海相的浮游生物、细菌和蓝绿藻仍是有机碳的主要来源, 直到中泥盆世陆地植物才出现。据估计, 目前海相浮游植物和细菌仍能产生世界上有机碳的 50%~60% (Vallentyne, 1981)。

图 1-2 是塔潘和勒比利契估算的各地质时期化石浮游植物的丰度。从图上可以看出, 地史上浮游植物的出现有两个高峰期。第一个高峰期大约在 8 亿年以前的前寒武纪到早古生代, 主要是具有有机壁特征的浮游生物, 如蓝绿藻、绿藻等。它们不具有由碳酸盐和硅质等矿物质所形成的骨骼。晚泥盆世到三叠纪时, 浮游植物产量较低。晚侏罗世至白垩纪出现另一个高峰, 主要是钙质的浮游植物, 包括颗石藻类和甲藻等; 硅质浮游植物在晚白垩世大量出现。白垩纪末至早

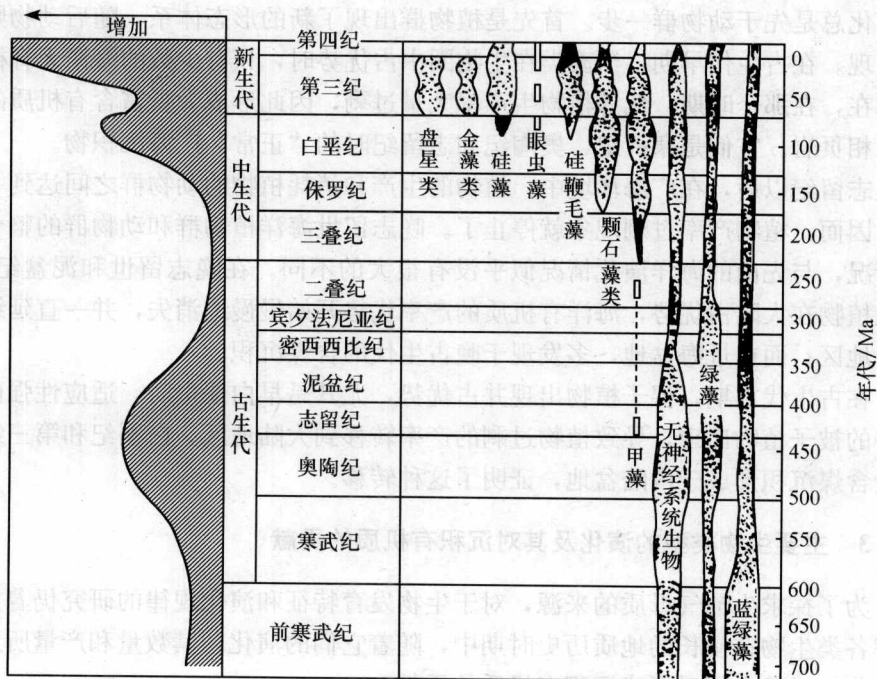


图 1-2 地质历史中化石浮游植物群和总浮游植物丰度变化

古新世,浮游植物产量有所下降,晚古新世和始新世产量又快速增加,出现第三个产量高峰,随后下降到目前的水平。

据估算,海洋浮游植物约有15亿t。特别是浮游植物的繁殖率很高。海洋浮游植物每年可产2000~5000亿t,比全部陆地植物的繁殖量(159~200亿t)大十几倍到几十倍。鉴于浮游植物的总量多而且产率大,因而它可能是世界上有机碳的第一大来源。

2. 细菌

细菌和藻类一样,也是生物界的先驱者,而且又是地球上分布最广、繁殖最快的一种生物。细菌的生活能力很强,它可以在温度和压力变化很大的条件下发育,可以在咸水、淡水、近代沉积物和古代沉积岩中大量繁殖,在生理学方面显示出巨大的适应性和多变性。它可以是自养的、异养的或两者兼有的;按其生活习惯可以有喜氧细菌、厌氧细菌和通性细菌,对提供有机质特别重要的是细菌的繁殖率居一切生物之首。因此,细菌是仅次于浮游植物有机碳的第二大来源。

由于细菌相当微小,而且缺少硬体部分,因而它们很少形成化石。这样的化石记录不适合于确定整个地史中细菌的产生数量。但是在包括前寒武纪的所有地质时代中曾经发现过细菌化石的例子。化石化的细菌时常与植物组织、动物和昆虫体等有机物质共生。值得注意的是大多数化石细菌在种属上与目前存在于相应环境中的形态相似(Moore, 1976)。因此,它对提供有机质的重要性是可想而知的。

3. 浮游动物

生物进化过程中的食物链,使异养的浮游动物的存在与分布和自养的浮游植物密切相关。在高产率的浮游植物区,浮游动物也相当发育。这种关系在前寒武纪浮游生物出现时就已存在,例如单细胞的纺锤虫和放射虫、软体动物和节肢动物等都是这种情况。在浮游植物发育的高峰期早古生代,大量发育着三叶虫、笔石等浮游动物。晚侏罗世大量出现浮游的纺锤虫也与当时大量发育的浮游植物相伴随,它的数量受浮游植物产率的控制。从寒武纪开始,大多数浮游动物提供了相当数量的有机质。但是,像鱼类等动物只能提供很少量的沉积有机质,实际上可以忽略不计,高等浮游动物不仅数量相对很少,而且重要的是它们的繁殖率低。低等浮游动物的数量较大,而且其繁殖率高,因而对形成沉积有机质有一定的贡献。

4. 高等植物

高等植物发育在陆地。据估算,它所产生的有机碳的数量与水生生物大致相当。据估算海洋浮游生物产生的有机碳约有 $(1.5\sim 7.0)\times 10^{10}$ t/a,陆地高等植

物产量为 $(1.4 \sim 7.8) \times 10^{10} \text{ t/a}$ 。但是,地质史上的高等植物出现时期较晚(图 1-3)。志留纪以前,陆地只有少量的低等植物,志留纪沉积物中才出现高等植物的残体。从泥盆纪开始植物残体才普遍存在于沉积岩中。高等植物前身的演化过程遍及了前寒武纪、寒武纪和奥陶纪。这些植物的前身包括蓝绿藻、绿藻及高等藻类(如海藻和海草等),它们生活在海洋环境中。据微化石纪录,直到志留纪晚期,原始的裸蕨类才控制了陆地,某些藻类也生活在海洋环境中。

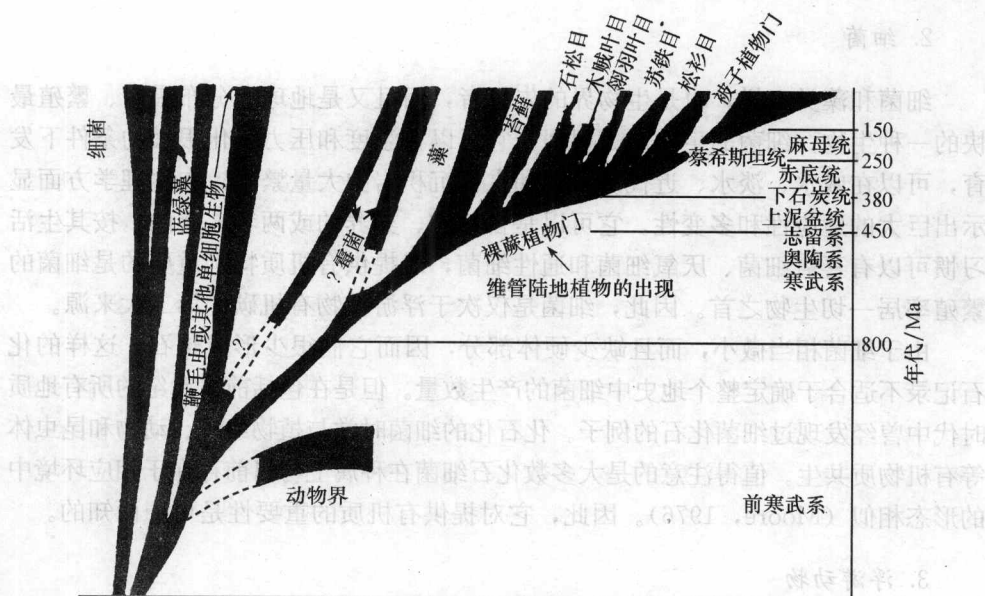


图 1-3 维管陆地植物的出现和演化

中早泥盆世时,其他蕨类植物也发育起来。至中泥盆世可能经历了一个爆炸性的演化,多数类型的维管植物相继出现,其数量急剧增加。泥盆纪晚期裸蕨植物稀少,其他的蕨类植物,如石松类、楔叶植物门和早期羊齿植物控制了陆地的植物群,到了晚石炭世,以蕨类植物为主的陆地植物群达到了高峰,成为世界上第一大成煤期。晚二叠世到早白垩世称为“裸子植物时代”。

植物演化的一个重要变革是早白垩世时适应性强的被子植物突然出现,并很快在植物群中占了优势,在大陆内地广泛繁殖,成为地史上广泛成煤期。直到现在,虽然被子植物较早白垩世有广泛的变异,但相同类型的植物仍占陆地的绝大部分面积。

1.2 有机碳的地球化学循环

碳是构成生命的核心原子。碳能够形成共价键并能与氧、氢、氮和硫形成共

用电子对,碳的这种能力是生命必需的特征。所有其他重要元素的循环都和碳循环相关联。有机化合物可以由微生物产生或被微生物降解(如在原油中就有 10^6 种不同的化合物)。然而微生物的代谢途径却可以还原为分子建造单元和对维持生命十分重要的反应链,这些分子建造单元及反应链的数目相对较少但却惊人地合乎逻辑。正是碳的循环结果,不断地为沉积有机质提供了来源。为了了解碳的循环,首先引入有机圈的概念。

1.2.1 有机圈的概念

有机圈即生物及其产生的有机质分布的空间。它不仅包括生物圈,而且包括沉积岩石圈。生物圈仅指活的生物分布的空间。有机圈还包括生物死亡以后,有机质沉积、埋藏和分布的空间,即沉积岩石圈。这样,有机圈实际上包括生物体活动和有机质演化的场所。生命活动、有机质沉积作用、有机质埋藏作用和石油、天然气、煤等有机矿产的形成作用都是在有机圈中发生和进行的自然过程。

1.2.2 有机碳的地球化学循环系统

据 Welte (1982) 研究,自然界中碳元素的总含量是一定的,其克拉克值为 0.04%。地球上总有机碳(TOC)也是一定的,约为 6.4×10^{15} t。大部分有机碳固定在沉积岩或沉积物中,约为 5.0×10^{15} t;相当大的一部分有机碳在沉积成因的变质岩中,约为 1.4×10^{15} t;只有少量的有机碳在生物体中或落于水中,约为 0.003×10^{15} t,这样的分布与碳的循环有关。

光合作用(photosynthesis)是造成地壳上产生大量有机质的基本过程。它是细菌或绿色植物,通过叶绿素利用光能将二氧化碳和水转化成有机物质的过程。光合作用的过程是把光能转变为化学能。它是利用阳光的能量将水分解,其中的氢用于还原 CO_2 ,产生葡萄糖,氧气(O_2)被游离出来。自养生物从葡萄糖中能够合成多糖及其他有机物质。其原理过程如图 1-4:

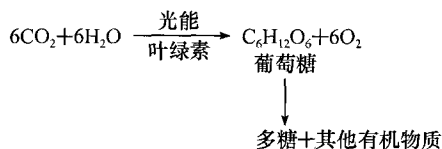


图 1-4 光合作用示意图

随着光合作用的进行与发展,生物界生生不息,其数量和种类越来越多。自然界存在着无机碳转化为有机碳和有机碳转化为无机碳的对立统一过程,它们相互排斥又相互联系,形成了碳的循环系统。