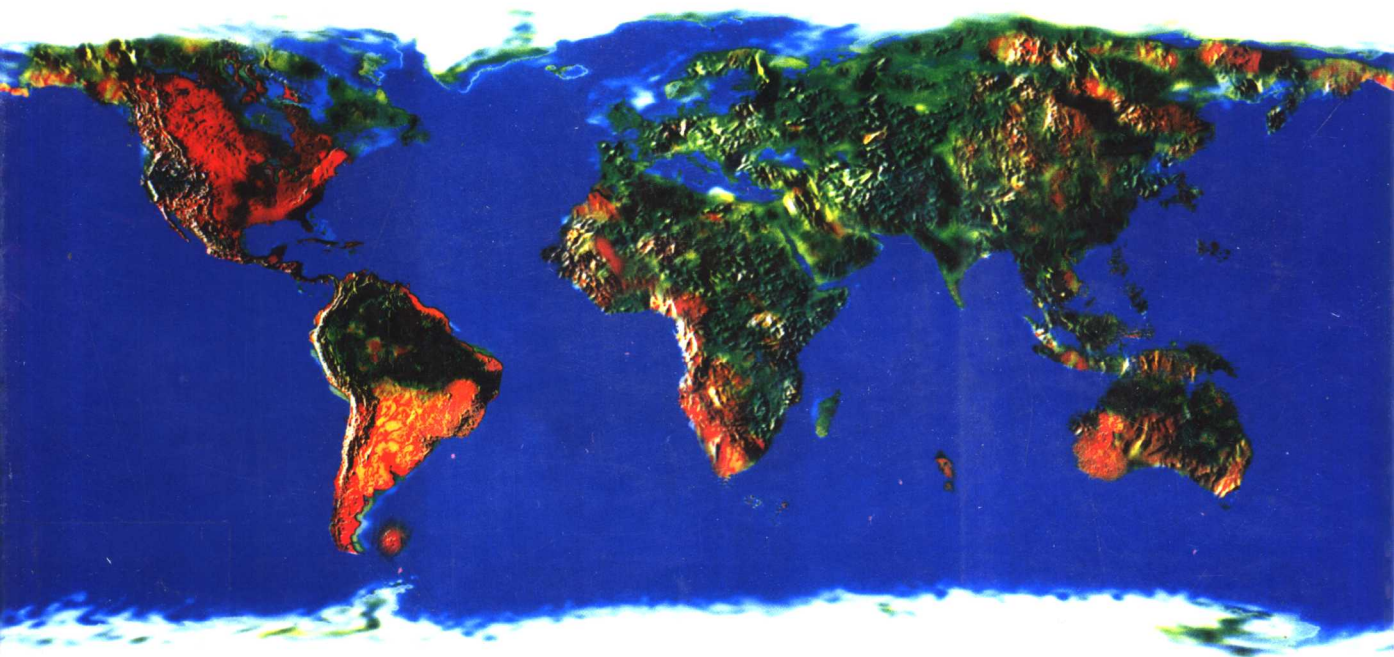


Gushengwu
dishixuegailun

古生物地史学 概论

·杜远生 童金南主编·



中国地质大学出版社

古生物地史学概论

杜逸生 董金南 主编
刘本培 指导

中国地质大学出版社

内 容 提 要

本书是为了适应高等学校地质类教学改革的需要,将古生物学和地史学合编而成的新教材,全书分为16章。

本教材以地质历史时期有机界、无机界的演化为主线,以阶段论、活动论的思想为指导,力求将原古生物学和地史学有机地融为一体,系统介绍了古生物学、地史学的基本理论和基础知识。在教材内容调整方面,加强了古生物学、地史学的基本概念、基本理论、基础知识,简化了古生物门类和各断代地史内容,并简单介绍了地史时期有机界、无机界的重大事件和古生物地史学的边缘学科和交叉学科。

本书系统性强,内容简洁,图文配合恰当,可作为高等学校地质类院系古生物地史学教科书,也可供地质类专业的其他人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

古生物地史学概论/杜远生,童金南主编. —武汉:中国地质大学出版社,1998.9
ISBN 7-5625-1326-0

I. 古…

II. ①杜…②童…

III. ①古生物学 ②地史学

IV. ①Q91 ②P53

出版发行 中国地质大学出版社(武汉市喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 张晓红 责任校对 徐润英

印 刷 湖北地矿印业有限公司

开本 787×1092 1/16 印张 13.75 字数 350千字

1998年9月第1版 2003年6月第2次印刷 印数 2001—3500册

定价:20.00

ISBN 7-5625-1326-0/Q·7

前 言

古生物学和地史学是地质科学的重要组成部分,是国内各高等学校地质类专业的专业基础课程。根据地质类专业学科体系、教学体系改革的需要,目前国内不少院系将古生物学和地史学两门课程合并。本教材正是适应这种教学改革需要而编写的。

本教材继承了我校《古生物学教程》(1980,1986,1993版)、《地史学教程》(1980,1986,1996版)的学科体系的思想精华,对教学内容进行了精选和更新。全书以地质历史时期有机界、无机界的演化为主线,以阶段论、活动论的思想为指导,系统介绍了古生物学、地史学的基本理论和基础知识。在教学内容调整方面,加强了古生物学、地史学的基本概念、基本理论、基础知识,简化了古生物门类学、各断代地史学的教学内容,将所简化的内容调整到后续课程中(如门类古生物学,微体古生物学等)。本书可作为国内地质类专业70~100学时的古生物地史学教材。

本教材由杜远生、童金南主编。编写过程中反复论证并征得校内外专家学者的意见和建议。刘本培教授自始至终关心本教材的编写工作,对本教材的学科体系、教学内容提出了建设性的意见。我校地史古生物教研室的全体教师多次讨论、反复论证该教材的教学大纲。1996年4月,在山东省泰安市召开的中国古生物学会第七届会员代表大会期间,中国古生物学会教育与普及专业委员会组织各高校数十名与会代表讨论了古生物地史学的教学改革以及本教材教学大纲。根据校内外专家的意见和建议,对教材编写大纲进行了修改,并分工进行了编写。本教材分工如下:第一、八章由杜远生编写;第二、十六章由童金南编写;第三章由王红梅、谢树诚编写;第四、五章初稿由林启祥、赖旭龙编写,由林启祥改写定稿;第六章由王永标编写;第七、十二章由颜佳新、杜远生编写;第九、十章由张雄华编写;第十一章由龚淑云编写;第十三章由冯庆来编写;第十四章由卢宗盛编写;第十五章由龚一鸣编写。初稿完成之后,童金南、杜远生分别对第一至第六章、第七至十六章进行了认真审阅、修改并最终定稿提交审查。王治平、杨逢清教授作为校内教材主审,北京大学白志强教授作为校外教材主审,认真审阅了教材并提出了很好的修改意见和建议,在此基础上主编再次作了相应的补充修改。徐晓玲、唐核之、彭泥泥、王香莲、魏国鹏绘制了本书插图,为教材增色不少,在此一并感谢。由于古生物地史学是由传统古生物学、地史学两门课程合并而成的,新的学科体系、教学内容还有待完善,加上本书编者水平所限,书中难免存在不妥或不足之处,敬请读者批评指正。

编者

1998年3月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 古生物地史学的内容和任务	(1)
第二节 古生物地史学的发展简史	(2)
第三节 古生物地史学发展时期的重大事件	(3)
第二章 化石的形成与古生物学	(4)
第一节 化石——古生物学的研究对象	(4)
第二节 化石的石化作用	(5)
第三节 化石的保存类型	(7)
第四节 化石的研究方法及其应用	(9)
第五节 化石的分类与命名	(11)
第三章 生命的起源与生物的进化	(15)
第一节 生命的起源与生物的演化	(15)
第二节 物种的形成	(19)
第三节 生物进化的一些特点和规律	(21)
第四章 古生物的主要门类(一)——无脊椎动物及半索动物	(24)
第一节 原生动物门——窠亚目(Protozoa——Fusulinina)	(24)
第二节 腔肠动物门珊瑚纲(Coelenterata, Anthozoa)	(25)
第三节 软体动物门(Mollusca)	(28)
第四节 节肢动物门三叶虫纲(Arthropoda Trilobita)	(34)
第五节 腕足动物门(Brachiopoda)	(36)
第六节 半索动物门笔石纲(Hemichordata Graptolithina)	(38)
第五章 古生物的主要门类(二)——脊索动物及古植物	(41)
第一节 脊索动物门(Chordata)	(41)
第二节 古植物学(Paleobotany)	(47)
第六章 生物与环境	(58)
第一节 生物的环境分区	(58)
第二节 生物的生活方式	(59)
第三节 影响生物生存的主要环境因素	(60)
第四节 群落与生态系	(63)
第五节 环境的古生物学分析方法	(65)
第七章 地层形成的沉积环境和沉积作用	(67)
第一节 沉积相和沉积环境	(67)
第二节 沉积环境的主要识别标志	(67)
第三节 主要沉积环境的沉积特征	(70)
第四节 地层形成的沉积作用	(74)

第八章 地层单位和地层系统	(80)
第一节 地层的划分和对比	(80)
第二节 地层单位和地层系统	(85)
第九章 历史构造分析和古构造	(93)
第一节 历史大地构造分析的内容	(93)
第二节 地史中恢复古板块的方法	(97)
第三节 大地构造分区和中国古板块的划分	(101)
第四节 构造旋回和构造阶段	(102)
第十章 中国古大陆的形成和生物记录	(105)
第一节 中国前寒武纪生物记录	(105)
第二节 中国主要大陆形成史	(107)
第三节 中国震旦纪的古地理和古构造	(112)
第十一章 早古生代的古生物、古地理和古构造	(117)
第一节 早古生代的生物界	(117)
第二节 早古生代的古地理	(121)
第三节 早古生代的古构造	(135)
第四节 早古生代的沉积矿产	(136)
第十二章 晚古生代的古生物、古地理和古构造	(137)
第一节 晚古生代的古生物	(137)
第二节 晚古生代的古地理	(140)
第三节 晚古生代的古构造	(157)
第四节 晚古生代的沉积矿产	(158)
第十三章 中生代的古生物、古地理和古构造	(159)
第一节 中生代的生物界	(159)
第二节 中生代的古地理	(163)
第三节 中生代的古构造与古气候	(172)
第四节 中生代的沉积矿产	(174)
第十四章 新生代的古生物、古地理和古构造	(175)
第一节 新生代的生物界	(175)
第二节 第三纪的古地理、古构造	(182)
第三节 第四纪的古地理、古构造	(188)
第四节 新生代的沉积矿产	(194)
第十五章 地质历史时期的重大地质事件	(196)
第一节 岩石圈事件	(196)
第二节 生物圈事件	(201)
第三节 水圈和大气圈事件	(203)
第十六章 古生物地史学的主要分支和边缘学科	(206)
第一节 古生物学的分支学科	(206)
第二节 生物地质学	(207)
第三节 地史学中的地层属性分支	(208)
第四节 地史学的其他分支边缘学科	(210)
主要参考文献	(211)

第一章 绪 论

第一节 古生物地史学的内容和任务

古生物地史学是地质科学三大主要分支(地球物质科学、地球动力科学和地球历史科学)之一的地球历史科学的主要内容,它由古生物学和地史学两学科组成。古生物学(paleontology)是研究地史时期生物界面貌和发展历史的科学,其研究对象为地质历史时期形成的地层中的生物遗体和遗迹,以及和生物活动有关的各种物质记录。地史学也称历史地质学(historical geology),它是研究地球发展历史和发展规律的科学,其研究对象主要为地质历史中形成的地层(包括无机界和有机界的物质记录)以及反映地球发展历史的其他物质记录。可以看出,古生物学和地史学是地史古生物学中既相互独立又密切相关的两分支学科。不论研究内容或任务,还是它们在地质科学中的地位和作用,二者都是相互交叉和密切相关的。

与现今生物学(neotology)相对应,古生物学可以进一步分为研究地史时期动物界及其发展的古动物学(paleozoology)(包括古脊椎动物学和古无脊椎动物学)和研究地史时期植物界及其发展的古植物学(paleobotany)。古生物学的研究对象是保存于地层中的生物实体和遗迹化石以及包含这些化石的围岩。生物化石的形态、结构构造、分类系统,生物的生态和生活环境、时空分布及生命的起源与演化为古生物学研究的主要内容。

地史学是研究地球历史的科学。地史学的研究对象为形成于地史时期的地层,所谓地层是指地球表面保存的层状岩石的综合,包括沉积岩地层、火山岩地层和变质岩地层。地史学的研究内容涉及地球的形成、生命的起源、生物的演化、古地理的变迁、板块的离合以及地球不同圈层的相互作用等。它可以进一步细分为三个部分:一是研究地层的形成顺序、时代,划分地层单位,建立地层系统和进行地层时空对比(地层学);二是根据地层的沉积组分、沉积相及其时空分布特征研究地层形成的古环境、古地理及其演化(沉积古地理学);三是根据地层的沉积组合、沉积古地理、古生物地理、古气候、古地磁及其他构造标志恢复地层形成的古构造背景、古板块分布格局及其离合史(历史大地构造学)。其研究任务包括:①研究地史时期生物界形成和发展的生物进化史(无机界);②研究地史时期古地理变迁的沉积发展史;③研究地史时期大陆和海洋板块的格局、板块离合过程、构造演化历史的构造运动史三个方面。

古生物地史学是上述两分支学科有机结合形成的。由于古生物学和地史学原本是两个既相互独立又紧密相关和交叉的学科分支,本教材力图将二者融合为一个整体,但在一定程度上仍保持各自的学科特点,如古生物学中生物分类系统和地史学的地球历史演化体系都有所保持。应当指出,古生物地史学是一门综合性学科,它涉及有机界和无机界的方方面面,如地壳的形成和演化、生命的起源和生物的进化、海陆的变迁和板块的离合以及地球不同圈层的相互作用,因此它在地球科学中占有重要的地位,具有重要的理论意义。同时,古生物地

史学与人类生存和发展所依赖的众多矿产资源(如能源矿产、部分金属矿产和大多数非金属矿产资源)密切相关,地球历史科学对人类的生活环境、生态环境和可持续发展也有一定的启迪意义。由此可见,古生物地史学是从事地球科学研究、矿产资源勘探开发和地球生态环境保护必备的专业知识,是地学类专业的一门重要基础课程。

第二节 古生物地史学的发展简史

作为地球历史科学的两个主要分支,古生物学和地史学是最古老的地质科学分支。地质科学的形成和发展是与古生物学和地史学的形成和发展密切相关的。虽然近代地质科学形成于18世纪后期,但朴素的古生物学和历史地质学的思想早已萌发。早在东晋时期,著名的道学家葛洪(284—364)在其《神仙传》中就提出“东海三为桑田”的思想。唐代颜真卿(709—784)在《扶州南城县麻姑山仙坛记》中也曾有“高石中犹有螺蚌壳,或以为桑田所变”的论述。北宋科学家沈括(1031—1095)在《梦溪笔谈》中更有精辟论述:“遵太行而行,山崖之间,往往衔螺蚌壳及石子如鸟卵者,横亘石壁如带。此乃昔之海滨,今东距海已近千里。所谓大陆者,皆浊泥所湮耳。”南宋理学家朱熹(1130—1200)也有“尚见高山有螺蚌壳或生石中,此石乃旧日之土,螺蚌即水中之物,下者却变而为高,柔者却变而为刚。”所有这些均代表人们认识地球发展历史的朴素的唯物主义自然观。

17世纪中期,丹麦医生斯坦诺(Steno, 1638—1686)根据对意大利北部山脉的考察于1669年提出了著名的地层叠覆原理、原始水平性原理和原始侧向连续原理,奠定了近代地层学的基础。18世纪后期到19世纪早期是古生物学和地史学理论体系建立和形成的重要时期。法国古脊椎动物学家居维叶(Cuvier, 1769—1832)提出了器官相关律和比较解剖学的理论;英国测量工程师史密斯(Smith, 1769—1839)于1796年提出了著名的“将今论古”的现实主义思想。所有这些都标志着近代古生物学和历史地质学科体系的建立和形成。之后,随着地质科学的发展和进步,古生物学和历史地质学也逐渐发展、进步与完善。

中国近代古生物学和地史学的发展大致以辛亥革命为界。辛亥革命之前,尚无人开展独立的地质调查工作,只有一些国外学者和传教士来华进行地质调查。比较著名的如德国学者李希霍芬(Richtshofen)于1860年及1868—1872年两次来华进行地质考察;美国学者维里士(Willis)1903—1904年来华地质考察。辛亥革命之后,中华民国政府于1912年正式组建了地质调查机构,标志着我国近代地质科学研究的开始。中国早期的地质学研究的主要方面之一就是地层古生物学。到30年代,经过老一辈地质学家的艰苦努力,中国各纪的地层研究均取得了显著成果。在此基础上,长期在华工作的美国学者葛利普于1924—1928年进行了系统总结,出版了《Stratigraphy in China》专著两卷。1939年李四光的《The Geology of China》和1945年黄汲清的《On Major Tectonic Forms of China》对中国各时代的地层、古地理和地质演化历史进行了系统总结。

现代古生物学和历史地质学的发展可以以本世纪60年代板块学说的诞生为标志,现已形成较为完善的学科体系。板块学说的建立促进了几乎地质学的所有领域。尤其是在历史地质学领域,以活动论的思想为指导去认识地球及其岩石圈形成和演化历史促进了人们地球历史观的革新。其间,在古生物学和历史地质学及其交叉学科的其他方面也取得了很大进步并形成了许多新的学科分支,如多重地层单位和层型概念的产生导致了现代地层学诸多分支的形成;间断平衡理论的提出导致对生物演化、生物地层对比研究的深化;新灾变论及有关地质

事件的新认识导致了事件地层学理论的建立；古生物学、地史学与其他学科的交叉形成了诸多的分支学科(详见第十六章)并逐渐形成了生物地质学和沉积地质学的学科体系等。

第三节 古生物地史学发展时期的重大事件

在古生物学和地史学乃至整个地质学的发展过程中，曾经发生过一系列重大的事件和争论，这些事件和争论对古生物学、地史学乃至整个地质学的发展起着重要作用。

18世纪后期的“火成论”和“水成论”之争是地质学形成发展中第一次重大争论。德国地质学家维尔纳(Werner, 1749—1817)是水成论学派的创始人。水成论学派认为水成作用是最根本的地质作用，地壳上的物质最初都来源于水成作用。火成论学派的创始人是苏格兰地质学家赫屯(Hutton, 1749—1797)。火成论学派认为，火成作用是地质作用的基础，地壳上的物质最初都来源于火成作用。这场争论最终以火成论的胜利而告终。但对当时来讲，水成论和火成论对认识地质作用的多样性，对促进地质学的发展都起到了重要作用。

古生物地史学和地质学发展过程中的第二次争论是“均变论”和“灾变论”之争。均变论的思想最早由赫屯提出，他认为地质营力、作用过程及其产物之间的相互关系无论是现在还是地史时期在原则上和质的方面都是不变的。英国地质学家莱伊尔继承和发展了赫屯的思想，建立了将今论古的现实主义或均变论的思想体系。灾变论的代表人物为法国动物学家居维叶，他认为地层中生物化石的更替是突然的、瞬时的，而不是缓慢的、渐进的。居维叶的灾变论思想后来被其追随者与神创论相联系，并为神学论者大加宣扬。从而导致长期对灾变论和居维叶本人的诸多批判。本世纪70年代以来，随着人们对白垩纪—第三纪之交恐龙及其他生物的群集绝灭、二叠纪—三叠纪之交大量无脊椎动物群集绝灭以及其他诸多生物绝灭事件的认识，地质学界再度掀起灾变论的浪潮，时称“新灾变论”。最近的研究表明：地质作用是一个漫长的历史发展过程，无论有机界还是无机界，既存在相对均匀、缓慢、渐进的发展变化，也存在不均匀、突然、瞬时的变化过程。而且这两种变化过程是相互交替出现的，即较长期的缓慢渐进和瞬时的快速突变相交替，从而形成地球发展过程中演化的“节律”。这就是近年来国内外流行的“点断前进论”(punctuated progression)的新的地球历史观。

地质学发展历史中的第三次重大争论是“固定论”和“活动论”之争。固定论学说认为，地球上的大陆和海洋在长期的地球演化历史中外形轮廓及地理位置没有发生过大的变化。这种思想以地槽(Dana, 1873)、地台(Карпинский, 1889)学说为主要代表，是长期统治地质学各领域的大地构造观。1912年，德国气象学家魏格纳(Wegener, 1888—1930)提出大陆漂移说，引起了对固定论的首次挑战。但是由于当时的地质科学积累的限制，大陆漂移说没有取得地质学和地球物理学的更多支持，加上魏格纳于1930年在格陵兰的科学考察中遇难，大陆漂移说在30年代之后又处于暂时沉寂状态。第二次世界大战以后，随着人类对矿产资源的急需和科学技术的发展，地质学，尤其是海洋地质学和地球物理学取得了突破性进展，相继出现了海底扩张、地壳消减的概念，并最终导致60年代后期板块学说的形成。板块学说形成以后，几乎带动了地球科学所有领域的发展，尤其是大陆地质学和大陆地球动力学的发展。近年来，地体理论、地幔柱学说、地球脉动学说的提出，更深化了人们对地球结构、演化和动力学的认识，也预示着不久的将来一个新的全球构造理论的诞生。

第二章 化石的形成与古生物学

第一节 化石——古生物学的研究对象

当代地球是生物主宰的时代，生活在地球上的生物形形色色，丰富多彩，它们遍布于地球的每个角落，繁衍生息，为地球增添了无限生机。然而，如此多姿的生物界来自何方？地质历史时期的生物界是何种面貌？它们是如何发展成今天的繁荣世界的呢？这一切答案都记录在保存于岩层中的化石上，这也是古生物学要研究的重要内容之一。

所谓化石(fossil)是指保存在岩层中地质历史时期的生物遗体和生命活动的痕迹。因此，化石区别于一般的岩石在于它必须与古代生物相联系，它必须具有诸如形状、结构、纹饰和有机化学成分等生物特征，或者是由生物生活活动所产生的并保留下来的痕迹。一些保存在地层中与生物和生物活动无关的物体，虽然在形态上与某些化石十分相似，但只能称为假化石，如姜结石、龟背石、泥裂、卵形砾石、波痕、放射状结晶的矿物集合体、矿质结核、树枝状铁质沉淀物等，都不是化石。

古生物学是以化石为研究对象，研究地史时期的生物界及其发展的科学，其研究范围包括各地史时期地层中保存的生物遗体、遗迹和一切与生物活动有关的地质记录。古生物是相对现生生物而言的，它们具有生活时代上的差别。通常古、今生物之间的时间界线被定在一万年左右，即生活在全新世以前的生物才称为古生物，而全新世以来的生物属于现生生物的范畴。因此，埋藏在现代沉积物中的生物遗体不是化石，人类历史以来的考古文物一般亦不被认为是化石。

古生物学的基础工作包括化石的采集和发掘、处理和复原、鉴定和描述，并在这些工作的基础上进行分类分析，进而研究各类生物的生活方式、进化规律等，最终应用于各种自然研究。在古生物学研究的化石中，有些生物体和化石个体较大，利用常规方法在肉眼下就能直接进行研究，这些化石称为大化石(macrofossil)。但是某些生物类别，如有孔虫、放射虫、介形虫、沟鞭藻和硅藻等，以及某些古生物类别的微小部分或微小器官，如牙形石、轮藻和孢子花粉等，形体微小，一般肉眼难以辨认，这些化石称为微化石(microfossil)。对于微化石的研究必须采取专门的技术和方法从岩石中将化石处理、分离出来，或磨制成切片，通过显微镜进行观察和研究，这就形成了一门专门的学科(微体古生物学 micropaleontology)。其中有专门研究古代植物繁殖器官孢子和花粉的孢粉学(palynology)；有以更加微小的超微化石(nannofossil)为研究对象的超微古生物学(ultramicropaleontology)。此外，在古生物学的发展和应用过程中，不断与相关学科交叉和渗透，产生了一系列边缘、交叉学科。如与地层学结合产生的生物地层学(biostratigraphy)和生态地层学(ecostratigraphy)；与物理化学结合产生的分子古生物学(molecular paleontology)和古生物化学(paleobiochemistry)；研究古代生物和无机、有机环境关系的古生态学(paleoecology)；研究地史时期动、植物地理分布的古生物

地理学(paleobiogeography)等等。

第二节 化石的石化作用

地史时期的生物遗体及其生命活动的痕迹在被沉积物埋藏后,经历了漫长的地质年代,随着沉积物的成岩作用,埋藏在沉积物中的生物体在成岩作用下经过物理化学作用的改造,即石化作用,而形成化石。化石的形成和保存取决于以下几方面的条件。

一、生物本身条件

从生物本身条件来说,最好具有硬体,因为软体部分容易腐烂、分解而消失,而硬体主要是由矿物质组成的,能够比较持久地抵御各种破坏作用。但是,硬体的矿物质成分不同,保存为化石的可能性也不同。由方解石、硅质化合物和甲氰磷酸钙等矿物组成的生物硬体,在成岩和石化作用过程中比较稳定,容易保存为化石;霏石和含镁方解石等不稳定矿物,在转化为稳定矿物之前则容易遭受破坏。有机质硬体如角质层、木质、几丁质薄膜等,虽易遭受破坏,但在成岩过程中可炭化而保存为化石,如植物叶子、笔石体壁等。在某些极为特殊的条件下,一些动物的软体部分有时亦能保存为化石,如琥珀中的昆虫(图 2-1)和第四纪冻土中的猛犸象(图 2-2)等。

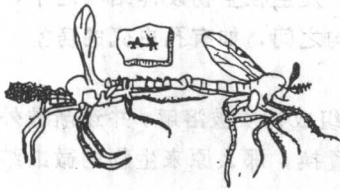


图 2-1 琥珀中保存完整的昆虫实体化石
(据河北师范大学生物系等, 1975)



图 2-2 冻土中保存完整的猛犸象实体化石
(据刘后一等, 1982)

二、生物死后的环境条件

生物死后尸体所处的物理化学环境直接影响到化石的保存和形成。在高能水动力条件下,生物尸体容易被磨损破坏;水体 pH 值小于 7.8 时,碳酸钙组成的硬体易遭溶解;氧化环境中有机质容易腐烂,而还原条件下有机质容易保存下来。此外,当时生活着的动物吞食和细菌的腐蚀作用亦影响到化石的保存。

三、埋藏条件

生物死后掩埋的沉积物不同,保存为化石的可能性亦不同。如果生物尸体是被化学沉积物、生物成因的沉积物所埋藏,那么,除软体部分外,硬体比较容易保存下来。如果是被粗的碎屑沉积物埋藏,则由于粗碎屑沉积物的机械活动性和富孔隙,生物尸体容易遭受破坏。但在某些特殊的沉积物(如松脂、冰川冻土)中,一些生物的软体部分亦能完好地保存下来(图 2-1, 2-2)。

四、时间条件

只有生物死后迅速被埋藏起来才有可能被保存为化石；被埋藏起来的生物尸体还必须经过长时期的石化作用后才能形成化石。有时生物死后虽被迅速埋藏，但不久又因各种原因被暴露出来遭受破坏，也不能形成化石。有时被埋藏在浅层沉积物中的生物尸体还有被生活在泥底中的生物吞食的可能。在一些较古老的岩层中的化石，岩层变形和变质作用亦容易使化石遭受破坏。

五、成岩条件

沉积物在固结成岩作用过程中，其压实和结晶作用都会影响到化石的石化作用和化石的保存。一些孔隙度较高、含水分较多的碎屑沉积物压实作用显著，因而保存在其中的化石变形作用明显。保存在碳酸盐沉积物中的化石，由于沉积物的成岩重结晶作用，由碳酸钙组成的生物体也将发生重结晶，因而生物体的结构容易被破坏。只有压实作用较小且未经过严重重结晶作用的情况下，才能保存完好的化石。

保存在沉积物中被埋藏起来的生物遗体，在沉积物的成岩作用过程中所发生的石化作用主要有以下三种形式。

(1) 矿质填充作用：生物的硬体组织中的一些空隙，通过石化作用被一些矿物质沉淀充填，使得生物的硬体变得致密和坚实。这种填充作用可发生在生物硬体结构之中，如贝壳中的微孔、脊椎动物的骨髓等，也可发生在生物硬体结构之间，如有孔虫壳的房室、珊瑚的隔壁之间等。

(2) 置换作用：在石化作用过程中，原来生物体的组成物质被溶解，并逐渐被外来矿物质所填充。如果溶解和填充的速度相当，以分子的形式置换，那么原来生物体的微细结构可以被保存下来，例如，华北二叠系的硅化木，其原来的木质纤维均被硅质置换，但其微细结构如年轮以及细胞轮廓都仍清晰可见；美洲西部三叠系硅化的动物标本，一些微小和精细的壳饰都完好地保存下来(图 2-3)。如果置换速度小于溶解速度，则生物体的微细构造不会保存，仅保留其外部形态。常见的置换作用有硅化、钙化、白云石化和黄铁矿化等。



图 2-3 置换作用形成完好的实体化石

(据 Grant, 1966)

(3) 碳化作用：石化作用过程中生物遗体中不稳定的成分经分解和升馏作用而挥发消失，仅留下较稳定的碳质薄膜而保存为化石。例如，以几丁质成分($C_{15}H_{26}N_2O_{10}$)为主的笔管和植物叶子经升馏作用，H, N, O 挥发逃逸，留下碳质化石薄膜。

由此可见，化石的保存和形成是受多因素长期控制的一种动力学过程，只要在地层内没有被发掘出来，这种过程就没有终止。因此，我们今天能够看到的化石是满足和经历了种种严格地质条件和过程的产物。在各时代地层中保存下来的化石，显然只是地质历史时期生存过的生物群中的一小部分。而且即使化石已经形成，如果它在地层中没有被发掘出来，它仍然受各种地质作用的控制，如变质作用、风化作用等，还可能遭受破坏。据统计，在现生

物中，已描述的物种约有 150 万种(Grant, 1963)，其中动物约为 100 万种，植物 50 万种。如果把现生物种全部描述出来，估计有 450 万种(Grant, 1963)。然而，目前已经记述的古生物物种只有 13 万种(Raup and Stanley, 1971)，约占已描述的现生物种的 8.7%。地质历史已经经历了几十亿年，即使从地球生物大爆发的显生宙以来，也有约五亿七千万年的历史。这一事实一方面说明还有大量未知的化石有待发现，另一方面也表明化石记录的不完备性。

虽然人们对化石的认识在很大程度上亦取决于对已有化石的发掘、采集和分析，但严格的化石保存条件导致了化石记录的不完备性，这是古生物学中的基本事实，所以在研究古生物界的面貌及其发展规律时，必须考虑这个事实，避免做出片面的结论。同时，化石是珍品，要爱护来之不易的化石记录，使之发挥其应有的作用。

第三节 化石的保存类型

根据化石的保存特点，大体上可以将化石分为四大类，即实体化石、模铸化石、遗迹化石和化学化石。

一、实体化石

经石化作用保存下来的全部生物遗体或一部分生物遗体的化石。一般说来，只有生物的硬体部分经历了不同程度的石化作用后才能保存为实体化石。但在个别极为特殊的情况下，生物的硬体乃至软体也可以无显著变化地、比较完整地保存下来。例如，1901 年在西伯利亚第四纪冻土层(约 25ka 前)里发现的猛犸象化石(图 2-2)，不仅其骨骼完整，皮、毛、血、肉，甚至胃中食物也都完整地保存下来了。我国抚顺煤田下第三系抚顺群(始新世至渐新世)琥珀中常见保存完整的蚊、蜂和蜘蛛等昆虫化石(图 2-3)。

二、模铸化石

指在岩层中保存下来的生物遗体的印模和铸型。根据其 与围岩的关系，又可分为 4 类。

(1) 印痕化石：即生物尸体陷落在细粒碎屑或化学沉积物中留下生物软体的印痕。经腐蚀作用和成岩作用后，生物尸体完全消失，但印痕仍然保存，而且这种印痕常常可反映该生物的主要特征，如加拿大大不列颠哥伦比亚省中寒武统布尔吉斯页岩和中国云南省下寒武统澄江动物群中大量保存优美的动物软体印痕化石(图 2-4)。

(2) 印模化石：即生物硬体(如贝壳)在围岩表面上的印模。包括外模和内模。外模反映了原来生物硬体的外表形态和构造特征；内模指出了生物的内部构造。需要注意的是，外模和内模所表现的纹饰和构造凹凸情况与原生物体的实际情况正好相反(图 2-5)。在外模和内模形成后，生物硬体被溶解，经压实作用内、外模重叠在一起就形成了复合模(图 2-6)。

(3) 核化石：即由生物体结构形成的空间或生物硬体溶解后形成的空间被沉积物充填固

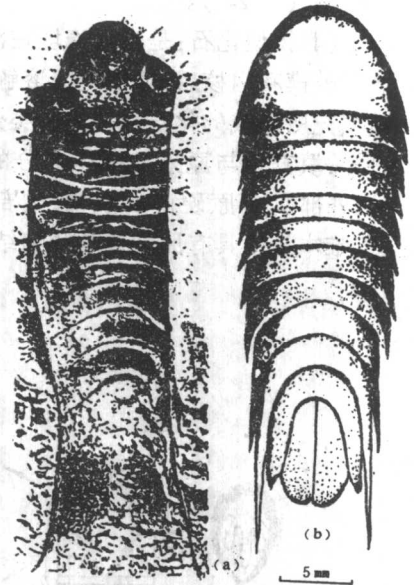


图 2-4 云南澄江下寒武统的印痕化石(a)及其软体复原图(b)
(据侯先光等, 1989)

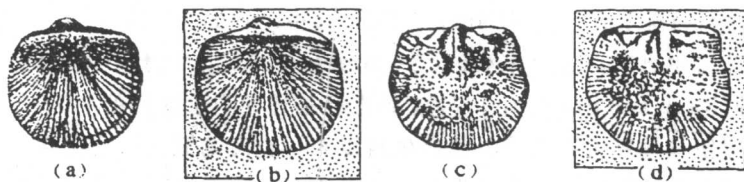


图 2-5 腕足类的背壳及其印模化石
(a) 背壳外壳; (b) 外模; (c) 背壳内面; (d) 内模

结后, 形成与原生物体空间大小和形态类似的实体。包括内核和外核两种。内核是充填于生物硬体内部空腔中形成的核化石, 其表面就是内模; 外核是被埋藏的硬体溶解后在沉积物中留下的空腔, 该空腔被再次充填所形成的核化石, 其表面特征与原硬体表面特征相同, 是外模反印到外核上形成的, 但其内部是实心的, 不具有硬体的内部结构 (图 2-7)。

(4) 铸型化石: 是当贝壳埋在沉积物中已经形成了外模和内核后, 壳质全部溶解, 并被另一种矿物质填充所形成的化石。该过程类似于工艺铸成品一样, 填充物与原来的硬体部分的大小和形态一致, 外部具有原硬体的装饰, 内部包裹着一个内核, 唯本身不具有原硬体的微细结构 (图 2-8)。

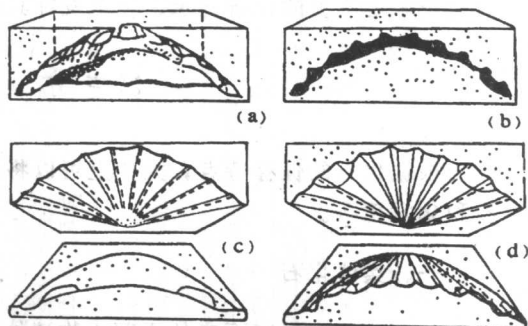


图 2-6 复合模的形成过程
(据 McAlester, 1962)

(a) 埋藏的双壳类壳体; (b) 壳体溶解; (c) 留下外模和内模; (d) 因压实作用形成复合模 (既有外模的放射脊, 又有内模的肌痕)

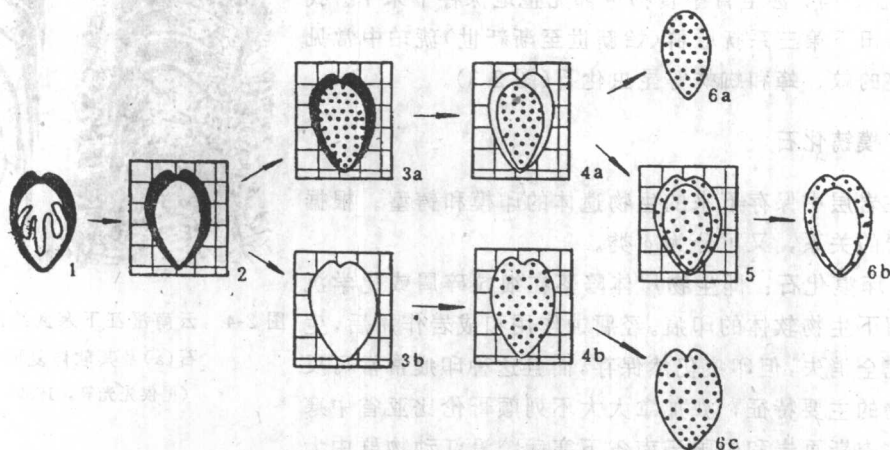


图 2-7 模铸化石及其形成过程

1. 双壳类壳瓣及内部软体; 2. 埋藏后软体腐烂; 3a. 壳内被充填; 3b. 壳瓣溶解; 4a 壳瓣溶解; 4b. 原壳体所占空间被充填; 5. 原壳瓣处被充填; 6a. 内核; 6b. 铸型; 6c. 外核

三、遗迹化石

指保存在岩层中古代生物生活活动留下的痕迹和遗物。遗迹化石很少与遗体化石同时发现，但它对于研究生物活动方式和习性，恢复古环境具有重要意义。动物在软质底质行走时所留下的足迹，高等动物留下的脚印，低等动物移动时在底质留下的移迹，生物在硬基底上形成的钻孔，在软基底上形成的潜穴等，都是常见的遗迹化石。同时遗迹化石还包括粪团、粪粒、蛋、卵、胃石等生物的排泄物和分泌物(图 2-8)。

四、化学化石

地史时期生物有机质软体部分虽然遭受破坏未能保存为化石，但分解后的有机成分，如脂肪酸、氨基酸等仍可残留在岩层中。这些物质仍具有一定的有机化学分子结构，虽然常规方法不易识别，但借助于一些现代化的手段和分析设备，仍能把它们从岩层中分离或鉴别出来，进行有效的研究。目前，人们已从岩层中分离出多糖、核苷酸、嘌呤、烃类和各种氨基酸。如从 3 亿多年前的鱼类和双壳类化石、1 亿多年前的恐龙化石中分析出 7 种氨基酸；从 10 亿年前的前寒武纪地层里也分析出了烃类、氨基酸等。这些重大进步，推动了当代分子古生物学(molecular paleontology)、古生物化学(paleobiochemistry)和生物成矿作用(biometallogenesis)等新兴学科的迅速发展，对探索生命起源，阐明生物发展历史，以及对生物成因的矿产的探查和研究都有重要意义。

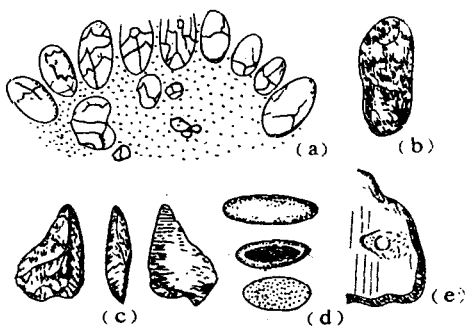


图 2-8 遗迹化石(引自张永裕等, 1988)

(a) 成窝的恐龙蛋化石; (b) 鱼粪化石; (c) 北京周口店山顶洞人的石器; (d) 粪粒化石; (e) 牡蛎壳上的化石珍珠

第四节 化石的研究方法及其应用

古生物学中关于化石的常规研究一般包括化石标本或样品的采集,标本的揭露或分离,化石的鉴定和记述,化石的照相、制图和复原以及资料分析和应用等几个步骤。

一、化石标本和样品的采集

大化石标本和微化石分析样品的野外采集是古生物学进行化石研究的第一步,也是最关键的工作,因为对化石的进一步研究和分析都依赖于野外对化石的第一手观察和资料收集。

野外资料的收集是根据研究工作任务、研究目的和要求而定的。一般说来,化石研究通常与产化石地层的研究相联系,要涉及到古生物的生活年代、生活环境、生活地理及其变化。在进行野外化石及其样品的采集之前,要对研究区的区域情况有所了解,诸如区域大地构造和古地理背景、地层层序及其出露情况、地层产状及接触关系等。

以地层研究为主要目的的化石采集,要注意选择有代表性的地层剖面进行系统的地层学研究和化石标本及样品的采集工作,采集化石应尽可能地全面。采集的化石和样品必须在野外进行现场编录和包装,并在野外记录簿上进行相应的登录和记述。尤其要记述标本的采集位置、与地层自然层理的关系、产出状态、丰富程度、完整性和野外现场初步鉴定结果(至少要现场鉴定出大门类,并分门别类地对化石装箱,以利于室内及时地根据各类化石特点进行

分析处理)。

对于以古生态和环境研究为主要目的的化石采集,除了进行常规的地层学资料收集外,应着重收集反映古生物本身生活特点和生活环境等方面的一些资料,例如化石的保存状态、保存完整程度、化石的磨蚀、分选和排列情况、化石在地层中的分布情况、化石的丰度和分异度、类别组成和各类别间的共生组合关系等。同时,对围岩资料的收集和观察亦十分重要,尤其是一些与当时沉积环境关系密切的沉积构造、沉积物组成、沉积环境标志物(如黄铁矿、海绿石等)乃至地球化学等方面的资料都对古生物的生活环境和古生态的研究十分有用。

大化石采集的关键是使用合理的物理化学方法将化石完整地从业岩中分离出来。野外采集必须根据化石围岩的特点,利用合适的工具和合理的提取方法,尽可能地不破坏化石的本身完整性及其装饰和结构。对于一些比较脆弱的化石或具有比较精细装饰和构造的化石,野外采集时通常要连同一部分围岩一起切取下来,待室内进一步分离和修理。对于一些比较坚硬的碳酸盐岩,必要时可用化学方法溶蚀围岩,以获取化石。

微体化石一般肉眼看不见,不能像大化石那样采集,通常是埋藏它们的沉积物一起按化石样品采集,回到实验室进行处理才能将微化石标本分离出来。对微化石样品的采集,必须了解各类化石的保存特点、有利岩性,以提高采样效率和准确性。各类生物的生活方式和生活环境不同,有利于它们保存的岩性亦不同。例如,钙质生物通常较容易从碳酸盐岩中获得;游泳和浮游生物则主要产于深水灰岩、页岩和硅质岩中。采样间距主要根据工作目的和岩性特点来确定;采样量取决于所采化石的类别和岩性,采样数量通常为处理化石时所需数量的5~10倍。样品可采自地表露头、钻井或海底、湖底的松散沉积物中,但力图要采集新鲜样品,明显的风化作用不利于样品的采集,尤其要防止样品的污染。

二、化石标本的揭露与分离

对于大化石的采集,通常要注意在野外时尽量采集保存完好、暴露全面的标本。当难以采集到完整标本时,要特别注意采集标本的一些具有关键性鉴定特征的部位。同时对采集到的标本进行包装保护是十分重要的。但多数标本都难免在装箱和搬运过程中被磨损,因此,一般还要注意采集一些在野外未完全暴露的标本,回到室内后再进行修理和揭露出化石的全貌。标本的修理和一些关键构造特征的揭露是一项十分细致的工作,需要有专门的修理设备和工具。这项工作通常要由专门的古生物学工作者或熟练的技术人员,或者在他们的指导下完成。为了揭示化石的内部构造,有时要做切片处理,或者磨制光面进行观察。

微化石标本的分离则更需要专门的技术对野外采集回来的样品进行处理。一般的处理包括碎样、物理或化学处理、挑样等过程。如果采集的是固体样品,则第一步是要将样品通过物理的方法破碎成小块(通常0.5~1 cm大小)。有时通过用水浸泡或用高温加热再骤冷的方法,可直接将化石分离出来(这种方法对某些大化石的分离亦十分有效)。样品的化学处理则首先要考虑化石和围岩的物理化学性质而选用不同的溶剂和浓度,使其既能将围岩溶解,又不致于破坏化石。通过这种酸(如盐酸、醋酸、氢氟酸等)或碱溶液处理后,一般能将化石从业岩中分离出来。因此接下来的工作就是在显微镜下将化石标本从分离后的样品中挑选出来,封存到特制的标本盒中,以供鉴定和研究。

三、化石的鉴定和记述

化石从业岩中揭露和分离出来之后,就可以进行各项古生物学研究了。首先要根据化石

特征进行分类，查阅有关的古生物学文献，对照前人已有的化石标本或图片和记述资料，给标本定名，确定其归属。如果查阅了所有的资料，确定它是新种或新属，就要根据有关命名法规赋以新的名称。

对于一些比较重要的化石，一般要进行详细的描述和分析，讨论其归属和地质意义。化石鉴定后要对该化石进行统计，结合野外观察和统计数据进行整理和补充，对野外未能正确确定的名称及相关的统计进行适当的补充说明，并在室内记录中记述修正意见和结果。

四、化石标本的照相、制图和复原

通常，化石标本的特征单靠文字记述很难完整确切地表达清楚，如配上一张清晰的照相图片，就能比较清楚地将其主要特征很好地表现出来，尤其对一些重要的标本和新建物种的模式标本必须配合能清楚明确地表达其关键特征的化石照片或扫描电镜照片。对于某些在照片上不易被注意到，或者不能清晰确切地表达的重要特征，以及一些重要的细节，还应绘制各种线条图加以说明。

某些个体较大的生物化石，如脊椎动物化石和某些古植物化石，身体各部往往分开保存，为了对化石有一个整体的认识，常需要研究者利用零散的化石标本，根据比较解剖学及其他相关知识对化石进行复原。某些化石，甚至还需要恢复其外表的软体特征。

五、化石资料的分析和应用

化石研究的目的是为了服务于科学的理论研究和实践应用。根据研究的任务和工作的目的不同，化石资料的分析方法亦不同。由于化石是古代生物的产物，因此借助于化石研究生命和生物的历史，生物体结构的演变，可以从生物学的角度来对化石资料进行分析和应用；由于生物进化的不可逆性，因而化石具有明确的时间含义，是地质历史的另一种时间标尺，可以从时间和历史发展的角度来对化石资料进行分析和应用；由于生物与环境是统一的整体，化石是古代生态系的直接指示者，古生态系的变化与古环境的变化是一致的，因此可以从古环境及其变迁的角度来对化石资料进行分析和应用。然而，在进行古生物资料分析和应用中，必须正视“化石记录的不完备性”这一客观事实，避免做出过分和片面的结论。

第五节 化石的分类与命名

古今生物种类繁多、形态多样，为了便于系统研究，研究者必须指出它们之间的亲疏关系，把它们归并成不同的类群，作不同的等级系统排列并命名，即进行分类研究。按照生物亲缘关系所作的分类称为自然分类。由于古生物化石保存常不完整或难以像现生生物那样直接确定其亲缘关系，因此有时只能按照化石之间形态上的表面相似性作人为分类。

一、分类等级

古生物化石的分类采用与现生生物相同的分类等级和分类单元，其主要分类等级是：界(kingdom)、门(phylum)、纲(class)、目(order)、科(family)、属(genus)和种(species)。除这些主要分类单元外，还可插入各种辅助单位，如亚门、亚纲、亚科、亚属、亚种和超纲、超目、超科等。

任一等级上的生物类群都必须具有一些共同的性状特征，以区别于其他的生物类群。共