目　录

绪　言……（1）
第一章　总论……（4）
　第一节　生物的演化与化石的形成……（4）
　第二节　生物化石的物质成分及其成岩变化……（8）
　第三节　钙质生物化石的显微结构……（12）
　第四节　生物化石的形态和构造……（23）
　第五节　化石碎片的鉴定步骤……（28）
第二章　钙质藻类化石……（30）
　第一节　概述……（30）
　第二节　蓝藻门……（31）
　第三节　绿藻门……（36）
　第四节　红藻门……（44）
　第五节　轮藻门……（51）
　第六节　金藻门……（53）
第三章　原生动物门……（56）
　第一节　概述……（56）
　第二节　有孔虫目……（56）
第四章　海绵动物门及古杯动物门……（68）
　第一节　海绵动物门……（68）
　第二节　古杯动物门……（71）
第五章　腔肠动物门……（74）
　第一节　水螅纲……（74）
　第二节　珊瑚纲……（78）
第六章　苔藓动物门……（90）
　第一节　一般特征……（90）
　第二节　苔藓动物的主要类型……（92）
第七章　腕足动物门……（97）
　第一节　概述……（97）
　第二节　腕足动物的主要类型及特征……（98）
第八章　软体动物门……（102）
　第一节　瓣鳃纲……（102）
　第二节　腹足纲……（105）
　第三节　头足纲……（107）
　第四节　竹节石纲及软舌螺纲……（110）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第九章　环形动物门 ……（114）
第十章　节肢动物门 ……（116）
第一节　三叶虫纲 ……（116）
第二节　介形虫纲 ……（118）
第十一章　棘皮动物门 ……（121）
第一节　海百合纲 ……（121）
第二节　海胆纲 ……（123）
第十二章　常见的其他非钙质生物化石 ……（125）
第一节　硅藻类 ……（125）
第二节　放射虫 ……（126）
第三节　牙形石 ……（127）
第十三章　遗迹化石 ……（130）
第一节　概述 ……（130）
第二节　遗迹化石的分类及常见类型 ……（131）
第十四章　生物化石与沉积环境 ……（137）
第一节　化石埋藏环境及化石组合 ……（137）
第二节　各类沉积环境条件的古生物标志 ……（142）
第三节　各类沉积相常见的化石组合 ……（150）
参考文献 ……（157）
附：生物化石碎片图版 ……（158）

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

绪　言

一、化石岩石学研究的内容

化石岩石学是用岩石学的方法研究岩石中生物化石的一门科学。它是碳酸盐岩石学的一个分支，是沉积岩石学和古生物学之间新发展起来的一个边缘学科。它所研究的内容概括起来有以下几方面：

1．研究生物化石的物质成分、显微结构、构造及其演化规律；

2．研究生物化石的成岩变化，诸如转化作用、交代作用和重结晶作用等；

3．研究生物化石的搬运、沉积、埋藏、保存条件，以及化石组合与环境的关系。

显然，化石岩石学和碳酸盐岩石学、古生物学研究的内容是不同的。碳酸盐岩石学只是把生物化石作为一种结构组份来研究，而不着重于化石的物质成分、微观结构和演化规律的研究。古生物学所研究的是地史时期的生物界，是完整的生物化石；它着重于研究完整生物化石的立体形态(尤其是大化石)，大小、构造、纹饰、生态、地史和地理分布、发展和演化规律等。化石岩石学是在古生物学系统分类和生物发展演化规律的基础上，采用岩石学的方法，利用偏光显微镜和扫描电子显微镜来研究生物化石，而且通常研究的是生物化石碎片而不是完整的生物化石。

二、化石岩石学研究的目的和意义

化石岩石学的研究与沉积学、岩相古地理学有非常密切的关系，它直接或间接地服务于找矿与勘探。

生物化石颗粒是碳酸盐岩中最常见和最主要的结构组份之一，它是碳酸盐岩分类命名的重要依据，如福克(Folk，1962)、顿哈姆(Dunham，1962)、莱顿及潘德克斯特(Leighton and pendexter，1962)等最有代表性的以及国内流行的碳酸盐岩结构分类，都把生物格架和生物化石作为划分大类和亚类的基础。

化石组合可用来划分区域性地层剖面。在显微镜下某些标准化石的碎片的鉴定可用来判断大的地层时代，如三叶虫仅分布于古生代、艇目仅分布于石炭—二叠纪。

有些门类的生物化石是沉积环境的典型标志，如筵、珊瑚、层孔虫、腕足、头足、三叶虫、棘皮类等，它们常被称为“指相化石”。其中有些门类，如造礁珊瑚，生活于特定的沉积环境，条件要求极为严格，在岩石薄片中研究它们及其组合，有助于判断沉积环境、恢复古地理。例如，我国渤海湾地区一些断陷湖盆的下第三系，以往被认为是内陆湖相沉积，后来在沙河街组地层中发现有珊瑚碎片、中国枝管藻和海相有孔虫等。从此，渤海湾地区下第三系为一度被海水浸漫灌入的近海湖泊环境沉积的观点已被越来越多的人所接受。

目前，大规模的石油勘探多在覆盖区和海上进行，应用化石资料进行沉积相尤其沉

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

积微相的研究，是确定含油有利地区的重要手段之一。钻井成本的昂贵，不可能通过大量的取芯来获得大量的完整生物化石资料，而只能从大量钻井岩屑中获得较多的生物化石碎片。因此，化石碎片的研究在覆盖区沉积相的研究中就显得尤为重要。例如，在北美墨西哥湾地区油气田勘探中，利用海相有孔虫的种属和生态来判断古水深、划分沉积微相，进而确定含油有利地区和井位，获得了较好的效果。

许多生物碳酸盐岩、尤其是低等藻类等生物形成的碳酸盐岩，可成为良好的生油岩。生物碎屑和生物格架所形成的孔隙是良好的储集空间，由生物结构组份组成的生物灰(云)岩、礁灰(云)岩乃是良好的储集岩。如华北油田元古界蓟县系雾迷山组的藻云岩、四川威远震旦系灯影组藻云岩、川南二叠系阳新统亮晶红藻灰岩和三叠系嘉陵江组介壳灰岩、川中侏罗系大安寨亮晶介壳灰岩、渤海湾地区下第三系沙河街组泥晶介壳灰岩和藻云岩、墨西哥黄金巷油田白垩系厚壳蛤礁灰岩等都是良好的储集岩，利比亚伊特里斯油田古新统礁灰岩单井日产油达万吨以上。这些储集岩的岩性特征、孔隙结构的研究无一例外地都和化石岩石学密切相关。因此，化石岩石学的研究在油、气等沉积矿产的勘探中具有重要意义。

三、化石岩石学发展简史

应用显微镜进行化石结构的研究最早开始于十九世纪中叶，1845年卡培特(Carpanter)首先进行了化石结构的研究。但是把化石结构作为专题进行研究还是本世纪的事。二十世纪二十年代，由于珍珠养殖事业发展的需要，有人开始对瓣鳃类及其他软体动物的壳层结构进行了研究。德国的施密特(Schmidt，1921，1923)首先用偏光显微镜对各种动物的硬体进行了系统地观察，提出了较为完整的贝壳概念。不久丹麦的毕吉德(Biggild，1930)对现代和古代软体动物进行了系统研究，对二百多个科的软体动物的钙质壳提出了八种钙质结构述语，发表了软体动物壳层结构专著，并提出了结构分类。

五十年代至六十年代，由于电子显微镜的普遍应用，使得各门类钙质生物硬体结构的研究得到了广泛开展，并达到了新的超微水平。在这一时期对生物硬体结构进行卓有成效研究的有：英国的伍德(Wood，1949)、美国的洛布利克和塔潘(Loeblich and Tappan，1964)等人对有孔虫结构的研究；加拿大的斯特恩(Stearn，1966)对层孔虫结构的研究；法国的阿路瓦托(Alloiteau，1957)、日本的加藤(Kado，1963)等对珊瑚结构的研究；美国的博德曼(Boardman，1960，1969)、拉克(Rucker，1968)等对苔藓虫结构的研究；英国的威廉斯(Williamss，1953—1972)对腕足类壳层结构的研究；美国的威尔伯(Wilbur，1964，1968)、泰勒(Taylor，1969)、德国的厄尔本(Erben，1968—1975)、瑞士的怀斯(Wise，1968—1970)、瑞典的玛特维(Mutvei，1964—1972)等人对软体动物硬体结构的研究；丹麦的约根森(Jorgensen，1970)、英国的巴特(Bate，1972)等人对介形虫壳层结构的研究；美国的劳普(Raup，1951—1961)、德国的尼森(Nisen，1963，1969)等人对棘皮动物结构的研究。

大量的研究成果和资料的积累，尤其是飞速发展的石油勘探事业对化石碎片的研究起了极大的促进作用，化石结构方面的综合性专著也相继问世。如六十年代初美国的马耶夫斯基(Majewske，1969)著的“岩石和薄片中无脊椎动物化石碎片的鉴定，霍罗威

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

茨和波特(Horowitz and potter, 1972)合著的"化石岩石学导论"，比较系统地总结了化石结构的研究成果，化石岩石学开始成为一门独立的分支学科而出现。

在我国，二十世纪五十年代，王鸿祯教授对珊瑚的硬体结构进行了研究。六十年代我国的一些研究单位和高等院校逐步开始了化石碎片的研究工作。"文化大革命"十年浩劫使这方面的工作陷于停滞状态。七十年代中后期，随着我国石油勘探事业在碳酸盐岩地区大规模的开展，促进了碳酸盐岩岩类学和岩相古地理学研究的不断深入，碳酸盐岩中生物化石碎片的研究普遍受到重视，先后有不少单位的研究人员从事这方面的工作，如中国科学院地质研究所的戴永定(1977)对生物化石硬体的显微结构提出了系统的分类，对生物钙质结构的演化进行了较深入的研究。四川石油研究院的张荫本对四川二叠—三叠系碳酸盐岩中的化石碎片进行了深入的研究。云、贵、川各省地质局、地质部第一、二、八普查大队等单位也都进行了大量的研究工作，出版了各地区的化石碎片图册。四川和北京石油勘探开发研究院还先后举办了碳酸盐岩和化石碎片鉴定学习班，对化石碎片的研究和普及起到了推动作用。华北任丘元古界碳酸盐岩油田的发现，揭开了华北地区碳酸盐岩找油的序幕，促进了这一地区化石碎片的研究工作，如渤海湾各油田研究院对渤海湾下第三系沙河街组碳酸盐岩的研究，中国科学院、任丘油田、华东石油学院等单位对华北下古生界及元古界碳酸盐岩的研究，都对化石碎片的研究给予了普遍的重视。

八十年代初，随着资料的不断积累和丰富，武汉地质学院的余素玉编写和出版了"化石碳酸盐岩"一书。北京大学、华东石油学院(石油大学)等高等院校也相继开设了"化石岩石学"课程。化石岩石学在我国已经成为一门独立的分支学科。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第一章 总 论

第一节 生物的演化与化石的形成

一、生命的起源和生物的演化

1. 生命的起源

目前，大量的研究成果表明，生命是在地球发展的历史进程中，由无机物通过极其复杂的途径、经历了漫长的岁月发展产生的。生命产生的过程可概括归纳为四个阶段。

（1）从无机小分子物质形成有机小分子物质

地球诞生的早期，表面是炽热的，地球上的元素都呈气体状态。当地球表面的温度降低时，内部温度仍然很高，火山活动极为频繁，火山喷出的气体，形成了原始地球大气。据推断，原始地球大气的成分大致有N、H元素以及NH_3、H_2O、CO、CO_2、H_2S、HCl、HCN(氰化氢)等无机化合物。这些物质在自然界不断产生的宇宙射线、紫外线、电离辐射等外界条件的影响下，就可能自然合成氨基酸、核苷酸及单糖等一系列比较简单的有机化合物，它们再通过雨水作用，经过河流、湖泊，最后汇集于原始海洋。由于当时的地球为缺氧的大气层所包围，合成的有机分子不易受到破坏而得以进化为有生命现象的物质。

（2）从有机小分子物质形成有机高分子物质。

氨基酸、核苷酸等有机化合物经过长期的积累和相互作用，形成了更为复杂的有机物，如甘氨酸、蛋白质及核酸等，被称为“有机高分子物质”或“生物大分子”。

（3）从有机高分子组成多分子体系

蛋白质和核酸等高分子物质在原始海洋里越积越多，浓度不断增加，由于水分的蒸发和粘土的吸附作用等种种原因，这些高分子物质经浓缩分离出来，它们相互作用凝聚成小滴，并漂浮于原始海洋中，外面包裹有最原始的界膜，与原始海洋环境分隔开来，从而构成了以蛋白质和核酸为基础的独立的多分子体系。这些多分子体系已能进行原始物质的交换活动，它们既能从周围环境中吸取营养，又能将废物排出体系之外，从而构成了有生命的原生体。

（4）从多分子体系演变为原始生命

多分子体系经长期不断的演变，尤其是蛋白质和核酸两大主要成分相互作用，终于形成了具有原始新陈代谢作用和能够繁殖的原始生命。随着地球的发展，这种原始生命日趋复杂化和完善化，最后演变为具有较完备的生命特征的细胞，从而产生了原核单细胞生物，即开始了由生命起源的化学进化阶段进入生命出现后的生物进化阶段。

2. 生物的演化

自从生命在地球上出现以来，生物界经历了一个由少到多、由简单到复杂、由低级

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

到高级的进化发展过程，在生物进化过程中，经历了如下三项重大的突破性的分支发展：

（1）从异养到自养的发展

地球上最早出现的原核生物为单细胞的菌类，它们只能以周围环境的有机质为养料，故称为“异养生物”，由于当时原始海洋中由化学进化产生的有机质有限，异养生物因缺乏足够的养料供给而很难继续发展。由于高度的变异潜能，原核生物演化出具叶绿素的蓝藻，它能够进行光合作用，从无机物合成有机的养料，称为“自养生物”。自养的蓝藻所合成的有机养料除自身消耗外，还供应异养的细菌。异养细菌除从蓝藻取得食物供应外，还把有机质分解为无机物，为蓝藻提供养料，从而形成了自养蓝藻和异养细菌互为依存的菌藻生态体系，又称为“两极生态体系”。这一生态体系大致出现在距今30至25亿年之间。

（2）从两极到三极的发展

两极生态体系形成之后，又经过很长一段时间，随着真核细胞生物的出现，开始了植物和动物的分化，形成了细菌和真菌、绿色植物（真核植物与原核蓝藻）、动物的三极生态体系。最早的动物化石出现在距今大约7亿年的地层中。据估计，最原始的动物大约出现在10亿年前，生物界的三极生态体系可能形成于那个时期。

（3）从水到陆的发展

海洋是生命的摇篮，三极生态体系形成后的很长一段时间仍在水中发展，直到4亿年前才登上陆地，植物为先驱，动物继之。生物界最高级的类别如被子植物、恒温动物都是在生物登陆以后发生的。由于新的生物类型不断出现，逐渐形成了现代动植物区系。

随着时间的推移，动物界遵循着由低级到高级、由简单到复杂的规律发展演化（图1-1）。

动物界中最早最低级的动物由单细胞组成，称原生动物，由原生动物演化出多细胞动物，称为后生动物。海绵动物是最原始最低级的多细胞动物，其机体仅由两层细胞组成，细胞虽有分化，但无组织产生，故此动物在演化上是一个侧支，又称侧支动物。腔肠动物为真正的后生动物，但它仅有简单的组织分化，还没有形成典型的组织与器官，故为低等的后生动物；它的躯体由外胚层和内胚层构成，所以称之为两胚层动物。所有的后生动物都是经过两胚层阶段发展起来的。

两胚层动物进一步演化为三胚层动物，即动物身体外由外胚层、内胚层和中胚层发育分化形成各种复杂的组织、器官和器官系统。再从原始的三胚层动物演化出原始的原口动物和原始的后口动物。

原口动物的特点是口位于原肠口或其前端与原肠相连。起源于原始原口动物的有低级的蠕虫动物、高级的身体分节的蠕虫动物——环节动物、软体动物，从环节动物又演化出节肢动物。

后口动物的特点是口不与原肠相连，而是在与原口相反的一端，内、外胚层相互紧贴，最后穿成一孔，成为幼虫的口，原口则变为幼虫的肛门。起源于后口动物的有棘皮动物和脊索动物。脊索动物中包括了动物界最高级的脊椎动物。

自高级的蠕虫动物至脊椎动物，都具有真体腔，统称为真体腔动物。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

介于原口动物和后口动物之间并具有二者特征的动物有背鳔动物和腕足动物。

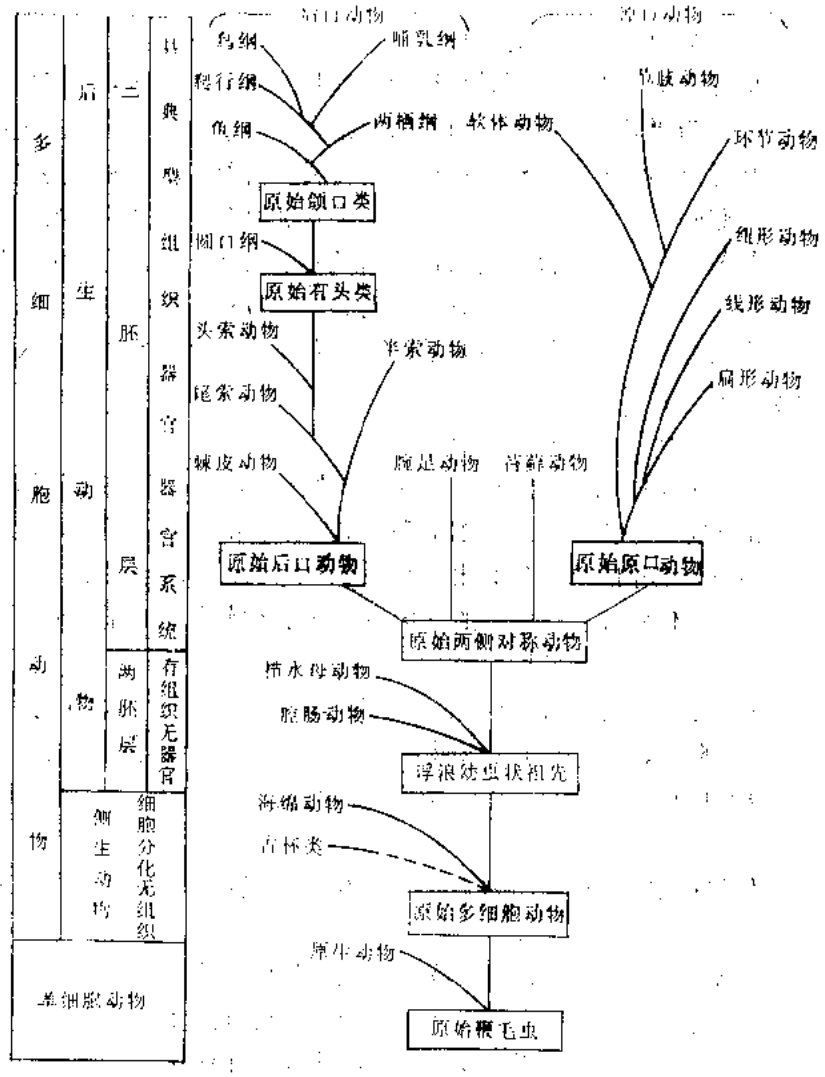


图1—1 动物界各门类的演化谱系

二、生物的生活环境与生活方式

1. 生物的生活环境

生物的生活环境是指生物在生活过程中所必须的各种生存条件的综合体。生物的生存与发展直接受各种外界条件的影响和制约，通常又把这些条件称之为环境因素，它们包括以下几方面：

(1) 深度和透光度：水生生物的生活与深度的关系极为密切。如海洋中藻类、造礁珊瑚大多生活于50m之内的浅水地带；有些生物，如软体动物中的腹足类、瓣鳃类生活领域较广，在浅水和深水都有其分布。

阳光穿透水体的深度称透光度，海水愈深透光度愈弱。按其强弱可将透光度分为三个带：自海平面至30—80m水深为强光带，在此带植物可进行光合作用；强光带的下限至200m深度称弱光带，此带中植物难于大量生存和发展；200m以下称为无光带，植物

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

逐渐绝迹，仅少数动物生存。

（2）温度和纬度：温度是影响生物分布的重要因素。而温度又与纬度、水体深度有密切关系。不同类型的生物对温度的适应能力不同。有些生物对温度和纬度较为敏感，如造礁珊瑚通常只发育在南北纬28°之间的热带、亚热带海洋中，海水的温度不低于18℃。另一些生物则能够承受温度的变化，如蓝藻从寒冷的北极到近赤道的海洋均能生存。前者称为温度固定生物，后者称温度变化生物。

随着海水深度的增加，温度也随之降低，对有些生物的生存和繁衍也起着抑制作用。

（3）水体的含盐度：水体的盐度直接影响着生物的生存和繁殖。不同门类的生物对盐度变化的适应能力不同。根据对盐度变化的适应能力，通常将生物分为狭盐性生物和广盐性生物。前者不能适应盐度变化，只能在正常盐度的海水中生活，如棘皮类、腕足类、头足类、珊瑚等；后者能在盐度变化的环境中生活，如瓣鳃类、腹足类、介形虫等，它们对盐度的适应能力强，既可以生活于海水、半咸水、也可以生活于淡水。

（4）海水的浊度：不同门类的生物对浊度的要求不同，大部份藻类因需要充足的阳光进行光合作用而喜欢生活于清水，大多数食悬浮物的生物，如珊瑚、苔藓、海绵等喜欢生活于浊度低的清水环境，少部份食悬浮物的生物，如腕足类和某些瓣鳃类，能适应中等浊度的海水。食沉积物的生物，如腹足类、蛤、蛇尾类等，能忍受浊度更大的海水。少数生物，如腕足类的舌形贝、介形虫等能在沉积速度很大的极为混浊的环境中生存。

（5）水体的循环：循环良好的流动性水体对生物的生长有利。因为循环良好的水体具有充足的氧气，并能提供生物赖以生存的食物，如一些造礁珊瑚、苔藓、层孔虫等就需要水体循环良好才能发育成抗浪的礁体。波浪作用稍弱、水体循环良好的浅水区，藻类的生长最为繁盛，循环稍弱或停滞的水体，不利于藻类的发育。

（6）海底底质：不同底质栖居不同的生物，石质或较坚硬的海底适于固着生物生活，如牡蛎、藤壶、珊瑚、苔藓、红藻等就需要坚硬的底质，泥质或砂质海底适于钻孔生物的生活。

2．生物的生活方式

水生生物的生活方式按照其生活习性和居住地点可分为三种类型。

（1）底栖生物：栖居于海底的生物，又可分为表生生物和内生生物。前者居住于海底表面；后者居住于沉积物内部，营穴居或钻孔生活。底栖生物沿海底爬行者称底栖活动生物，固着在海底不能活动者称底栖固着生物。

（2）游泳生物：具游泳器官，能在水中自由游动的生物，如头足类、各种鱼类，多呈两侧对称，骨骼、肌肉、感觉器官高度发达。

（3）浮游生物：缺乏游泳器官，随波逐流地漂浮于表层水体，多为躯体微小、无骨骼或具薄壳的生物，如水母、单细胞动物的抱球虫、放射虫等。

陆生生物广义上亦有固着底栖和移动底栖者。前者如各类植物，后者如各种动物。此外，陆地上还有飞翔生物，如鸟类和某些昆虫等。

三、化石的形成

1．化石的形成过程

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

从生物的发育、死亡、埋藏、最后到形成化石，大致可分为四个阶段，形成四种类型的群落。

（1）生物群：出生和生活在同一环境中的所有生物称为生物群。同一生物群的生物在生长发育、繁殖过程中，受共同的环境因素和生活条件的控制。

（2）死亡群(尸积群)：生物因为衰老、疾病侵袭、彼此伤害、自然选择、环境条件改变等因素而死亡，形成的尸体堆积称死亡群或尸积群。死亡群可同属一个生物群，也可包括几个生物群的尸体堆积。

（3）埋藏群：尸积群被沉积物覆盖保存起来称为埋藏群。生物由死亡到埋藏的整个过程中，因细菌的分解而腐烂、因搬运过程中的溶解、腐蚀、破碎、其他动物的吞食以及搬运过程中的掺和作用，致使埋藏群和死亡群有着明显的差异。

（4）化石群：埋藏群经过石化作用而形成化石群。化石群中的生物类别虽和埋藏群没有明显的差别，但经过了石化过程中的溶解、转化、交代、重结晶等一系列成岩变化，生物遗体的物质成分和结构将发生重大变化。

由生物群到化石群，常经历了各种物理、化学作用，要想恢复生物群及其生活环境的本来面目，就必须研究化石形成过程中的一系列变化，排除各种物理、化学因素的干扰。

2．化石的类型

在地层中已保存的常见化石类型主要有三种：即：实体化石、模铸化石、遗迹化石。

（1）实体化石：指古生物遗体本身全部或部份地保留下来而形成的化石。生物的硬体和软体同时保留下来形成化石者是极少数，绝大多数生物仅能保存其硬体部份。

（2）模铸化石：生物遗体在底层或围岩中留下的印模和铸型。其数量少于实体化石。

（3）遗迹化石：指保留于岩石中的生物生活活动的痕迹和遗物。

化石岩石学主要研究硬体实体化石和部份遗迹化石。

第二节　生物化石的物质成分及其成岩变化

一、生物化石的物质成分

生物硬体的物质成分主要可分为钙质和磷质两大系列。前者主要出现于无脊椎动物，后者常见于脊椎动物。此外尚有有机质硬体，它们在各门类中普遍存在，硅质硬体较为少见。

1．钙质

组成生物硬体的钙质成分主要为钙、镁的碳酸盐，它们构成了绝大多数无脊椎动物和藻类植物的主体以及脊椎动物中的爬行类和鸟类的蛋壳、鱼类耳石等。所呈现的矿物成分主要为低镁方解石、文石、高镁方解石和原白云石四种类型。

由低镁方解石组成硬体的生物常见的有蓝藻、原生动物的有孔虫、钙质海绵、部份腔肠动物和苔藓动物、腕足类以及节肢动物的三叶虫和介形虫等等。由文石组成其硬体

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

者常见的有绿藻、软体动物及六射珊瑚等。由高镁方解石组成其硬体者常见的有红藻、八射珊瑚、棘皮动物等。由原白云石组成者占极少数，主要为古藻类，如前寒武纪的蓝藻和红藻等。主要钙质化石的矿物组成见表1-1。

表1-1 钙质生物硬体的矿物组成简表（据戴永定等，1977）

生物界	门	纲	钙镁碳酸盐：低镁方解石	高镁方解石	低镁方解石+文石	文石	原白云石
无脊椎动物	棘皮动物		▲	■ ▼			
	节肢动物	三叶虫	●				
		介形虫	●				
	软体动物	头足类	▲		○	●	
		腹足类	▲		○	●	
		瓣鳃类	▲		○	●	
		竹节石	●				
		软舌螺				○	
	环节动物			○		○	
	腕足动物	有铰	●				
		无铰	○				
	苔藓动物		●				
	腔肠动物	珊瑚	● 四射 横板	▼ 八射		● 六射	
		水螅（层孔虫）	●				
	古杯动物		●				
	海绵动物		▼ □			▼	
	原生动物	有孔虫	●	○		○	
植物	绿藻		●				
	绿藻		▲			●	
	红藻		▲	●		○	○
	金藻		○				
	蓝藻		●	○			○

● 代表多数种属（外骨骼）　■ 代表多数种属（内骨骼）
○ 代表少数种属（外骨骼）　□ 代表少数种属（内骨骼）
▼ 代表骨针　▲ 代表转化后的次生矿物

2．磷质

组成生物硬体的磷质成分主要为钙的磷酸盐，矿物成分为胶磷矿以及由此转化而来的碳磷灰石和氢氧磷灰石。它们常构成脊椎动物和牙索动物的主体，还出现于无铰腕足

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

类、环节动物的多毛纲的多数种属、节肢动物的三叶虫纲的一些属，以及原生动物、腔肠动物、苔藓动物和软体动物的少数种属。

3．硅质

组成生物硬体的成分为二氧化硅，矿物成分为蛋白石及由此转变而来的玉髓、石英。常组成某些低等生物的硬体，如硅藻、硅质鞭毛虫、放射虫、太阳虫、硅质海绵等。

4．有机质

组成生物硬体的有机化合物主要有几丁质、壳质、海绵丝及胶原等。它们在化石中已分解为致密隐粒的暗色(褐色、黑色)薄膜，或包裹于壳的外表面，或分布于硬体中，尤其在某些节肢动物的硬体中更为发育。

二、化石硬体矿物成分的成岩变化

组成生物硬体的原始物质成分在生物死亡、埋藏和石化过程中，常发生不同程度的成岩变化。引起成岩变化的作用有下列几种。

1．转化作用

转化作用突出地表现在组成化石硬体的高镁方解石和文石向低镁方解石的转化上。这种转化又称方解石化作用，并常以离子析出和溶解—再沉淀两种方式进行。高镁方解石向低镁方解石的转化靠镁离子的溶出，无晶格和晶形的改变，也不破坏和改变生物硬体的原始结构。文石向低镁方解石的转化是通过溶解—再沉淀作用，即文石在小范围内溶解并立即再沉淀结晶出方解石，这种转化改变了原始矿物的晶格和晶形，也改变了化石硬体的原始结构。

文石和高镁方解石都是不稳定的碳酸盐矿物，一旦原始形成环境发生改变，它们就要向低镁方解石转化。在各地史时期中，由高镁方解石和文石组成其硬体的生物化石，经过成岩作用多已发生转化。因此，岩石中保存的钙质生物化石其矿物成分多是低镁方解石。

2．重结晶作用

随着埋藏深度的增加、地质年代的增长和成岩作用的加强，被填隙物包围的生物化石也常发生重结晶作用，从而使生物硬体的原始结构发生改变。岩石的重结晶总是先从填隙物开始，然后波及到生物颗粒。但不同门类的化石对重结晶作用的敏感性是不同的。部份钙质生物化石由易到难的重结晶顺序大致是：六射珊瑚—绿藻—软体类—钙质海绵—部份有孔虫—腕足类—苔藓类—节肢动物—棘皮动物—红藻。上述顺序表明，重结晶作用对不同门类化石的选择性与生物化石的矿物成分有一定关系。生物硬体由文石组成者最易重结晶，由低镁方解石组成者较难，由高镁方解石组成者最难。

重结晶作用也发生在硅质和磷质组成的生物硬体中，它们都是由非晶质重结晶为晶质。如蛋白石重结晶为玉髓和石英；胶磷矿重结晶为碳磷灰石、细晶磷灰石和氢氧磷灰石。

3．交代作用

钙质生物硬体在成岩过程中常发生的交代作用主要有白云化作用和硅化作用。白云化作用对不同门类的生物因原始矿物成分的差异而具有选择性。白云化由易到难的大致

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

顺序是：高镁方解石质硬体(如红藻)—文石质硬体(如软体类、六射珊瑚)—低镁方解石质硬体(如腕足类、介形虫、三叶虫等)。有些钙质生物硬体也常发生硅化而被玉髓或石英所交代。在近地表的浅埋藏条件下，由于具有酸性介质条件而常发生钙质生物硬体的硅化作用。

此外，生物硬体的原生矿物，包括一部份有机质，也可被方解石、天青石、重晶石、萤石、磁铁矿等矿物所交代。

生物硬体原始矿物成分和原生结构经过成岩变化而形成的新矿物和结构，分别称为次生矿物和次生结构。

三、生物硬体矿物成分的演化

地质时代和环境的变迁对生物硬体矿物成分的演变有较大影响。在元古代，由于大气圈二氧化碳分压比现在高出100倍以上，水圈中Mg/Ca的比率也比现在大得多，加之大量的火山喷发，水体中含有较多的镁和硅。因此，10亿年前出现的低级红藻分泌的是原白云石，6.4亿年前我国南方震旦系陡山沱组见到的是硅质海绵。震旦纪晚期，由于基性母岩风化造成磷的溶出，火山喷出气体的磷的带入，使海洋中聚集了大量的磷酸根离子，大气圈中CO_2分压降低，水体中碳酸含量减少，pH值增加，导致水体中聚积的磷酸钙过饱和而沉淀，成为富磷的地质时期，使当时甚至到早寒武世时期处于发展水平最高的三叶虫、软舌螺、无铰腕足类等简单地汲取、分泌磷酸钙而形成自己的硬体。也可能因磷化合物的催化作用，形成不溶于酸的有机质壳，使磷质壳层与几丁质壳层交替生长，密切共生。但磷质壳层从不与钙质壳层共生，这可能与磷酸盐化合物对生物硬体钙化起阻碍作用有关。

早寒武世氧气增加到现代的1%、CO_2分压进一步降低，水圈中钙离子大为增加，碳酸含量进一步降低，pH值继续增加，方解石在有机质的催化和保护下发生沉淀，无脊椎动物的钙质硬体大量出现。

自寒武纪以后，海水的pH值继续增加，磷酸根离子浓度大为减少，生物的磷质外骨骼的发育受到限制。到了奥陶纪，无脊椎动物的硬体矿物成分已为钙质所代替。

在同一门类生物的不同种属中，随着时代和环境的变迁，矿物成分亦有变化，如从中寒武世和早奥陶世开始出现至晚二叠世灭绝的床板珊瑚和四射珊瑚，硬体的矿物成分为低镁方解石，中三叠世开始出现的六射珊瑚，硬体矿物成分已为文石，而三叠纪繁衍至今的八射珊瑚，硬体的矿物成分则为高镁方解石。

在生物个体发育的不同阶段中，某些生物硬体的矿物成分亦发生变化。如某些钙质壳的瓣鳃类，其幼体胚壳却由碳磷灰石组成。有些瓣鳃类(如贻贝)，其壳体外层为方解石，内层为文石。柳珊瑚的骨片一般为高镁方解石，基部和靠近基部的轴部，由不同比例的文石和低镁方解石组成，而且这些成分随环境因素的变化而变化，即当环境温度低于15℃者全为方解石，高于22℃者全为文石。

综上所述，生物硬体矿物成分的演变直接受其所处环境——水圈、大气圈、岩石圈演变的影响，同时也受生物进化因素的制约。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第三节　钙质生物化石的显微结构

一、显微结构的分类

钙质生物化石显微结构的研究，很早以前已经引起了许多研究者的重视。早在1845年，卡培特(Carpanter)就已经开始了钙质生物化石显微结构的分类工作。1930年毕吉德(Beggild)曾对200多科软体动物钙质壳提出了8种钙质结构术语。1969年马耶夫斯基(Majewske)又把这8类结构用于叙述各类生物化石的钙质显微结构。这8种结构是：(1)均质微细结构，(2)柱状微细结构，(3)叶片状微细结构，(4)珍珠质微细结构，(5)粒状微细结构，(6)单晶微细结构，(7)交错片状微细结构，(8)复合交错片状微细结构。这一分类方案对深入研究各门类化石显微结构、正确鉴定化石碎片起到了一定作用，但他所划分的结构在显微镜下很难确定，而且与生物分类和演化缺乏内在联系。

五十年代，我国流行苏联学者马斯洛夫(В·П·Маслов)提出的化石显微结构分类。这一分类将化石显微结构分为六类：(1)显微粒状结构，(2)单晶结构，(3)细纤维结构，(4)粗纤维结构，(5)极细的垂直于壳分布的纤维结构，(6)由薄片及纤维构成的复杂结构。马氏的结构分类基本上反映了各门类生物硬体矿物组合特点，对确定化石碎片的类型起到了鉴别作用，但他的结构命名和划分显得粗略含糊，不能满足化石碎片鉴定的需要。

1977年我国科学院戴永定等人以组成生物硬体的矿物晶体空间形态——点、线、面、体为依据，将生物化石的显微结构划分为粒状、纤(柱)状、片状、单晶四大结构类型，然后再按晶体大小和排列方式等特征进行详细划分。实践证明，这是一个较好的分类方案，它有助于化石碎片的精确鉴定，而且与生物的分类和演化谱系显示出一定的内在联系。但该分类未考虑显微结构的成岩变化，而且将玻纤、柱状结构与层纤、球纤等结构都划为一类，与生物的演化显示不出对应关系。

本教材以化石显微结构的成因为依据，首先将显微结构划分为原生结构和次生结构两大类型，然后，再根据矿物晶体的形态分为粒状、纤状、片状、纤—柱(状)、单晶、晶粒六种结构类型，进一步根据晶体的大小、空间排列再进行细分(表1-2)。这一分类考虑了化石显微结构的成因，将生物生长过程中形成的原生结构与经过成岩后生变化而形成的次生晶粒结构分开；同时也考虑到玻纤、柱状结构与纤状结构在特征和所出现的生物门类以及在生物演化谱系上有所不同，故将它们划分为各自独立的结构类型。

1．原生结构

原生结构是生物在生长和发育过程中形成的骨骼或硬体的显微结构。根据矿物的晶体形态，进一步分为粒状、纤状、片状、纤—柱(状)、单晶五种结构类型。

(1) 粒状结构

由三轴近于等长光性方位不同的粒状方解石或文石颗粒组成。多出现于低等门类的生物中，如低等藻类、原生动物、海绵、古杯动物、腔肠动物，以及苔藓动物、腕足动物、软体动物的最外层或胚壳中。按晶粒大小可分为胶粒、隐粒、微粒三种类型。

① 胶粒结构：也称为粘结结构。由泥晶方解石粘结稍大的方解石、粉砂级石英及其

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

表1-2 生物化石显微结构分类表

按成因 / 按晶体形态 / 按晶体大小和非列	原生结构					次生结构
	粒状	纤状	片状	纤—柱(状)	单晶	晶粒
晶体大小	胶粒 隐粒 微粒			玻纤 柱状	连生单晶 网格单晶 薄壁单晶	多晶 单晶
晶体排列		层纤 线纤 球纤 线层纤	平行片状 倾斜片状 交错纹片 复杂交错纹片 珍珠片状			

他碳酸盐颗粒组成。仅见于较低级的生物，如低级蓝藻、红藻、钟纤虫、低级有孔虫(如砂盘虫超科)等。

② 隐粒结构：由<0.5—1μm的碳酸盐颗粒组成，因颗粒太小，光线多被折射和反射而显示光性杂乱，含较多的有机质，薄片中常显示为暗色或不透明，常组成蓝藻、红藻、金藻、甲藻(鞭毛虫)的细胞壁、有孔虫的外层、某些海绵体壁、层孔虫及珊瑚幼年期的硬体。

③ 微粒结构：由1—5μm的碳酸盐颗粒组成。色浅、微透明、光性杂乱。常组成藻类的细胞壁、有孔虫的内层、海绵体壁及骨针、古杯类体壁、某些珊瑚和苔藓虫幼年期的硬体等。

(2) 纤状结构

纤状结构是由平行或放射状排列的较短的方解石或文石纤状晶体，沿钙化基点、基线、基面生长而成。晶体的光轴与纤体的延长方向一致。为腔肠动物、轮藻藏卵器的主要结构特征，某些有孔虫、苔藓虫、腕足类、软体类动物亦具有此结构。按纤体生长基础的几何形态、生长方式和大小，可把纤状结构进一步分为层纤、线纤、球纤、线层纤四种结构类型。

① 层纤结构：纤状晶体垂直于基面生长，且随基面弯曲而改变方向，故亦称为“正纤”，纤体常因阶段生长而形成层状(图1-2，c)。在单偏光镜下，纤体纵切面与下偏光垂直时界线清晰，正交光下转动物台呈前进波状消光；横切面似均质而透亮，正交光下呈不均一波状消光，故可与微粒结构相区别。纤体短小，具有层状基面，可与玻纤结构分开。扫描电镜下，纤体显现方解石颗粒作纤状排列。

② 线(柱)纤结构：戴永定等称为柱纤结构。纤体沿基线向外向上生长，开始与基线近于平行，然后其交角向外逐渐增大，形成束状和喷泉状，但亦有呈斜线或垂直线者，其生长基线实际为隐粒或微粒碳酸盐颗粒组成的粒状结构，常因重结晶而消失。在纵切面上，线纤呈长条形，前进波状消光，横切面呈圆形或多边形，显十字消光(图1-2，d)。线纤结构一般为文石组成，但亦有方解石组成者，主要出现于四射珊瑚、六射珊瑚、水螅、层孔虫、轮藻藏卵器以及瓣鳃类、腹足类个别种属的壳体外层中。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

③ 球纤结构：纤体由基点向周围呈放射状生长，并相互嵌接。进一步可分为全球纤和锥球纤两种类型(图1-2，a，b)。全球纤的任何切面和锥球纤的横切面呈圆形，正交光下呈放射状十字消光，锥球纤的纵切面呈扇形，显波状消光。球纤结构多由文石组成，主要发育于中新生代的水螅和某些六射珊瑚中。某些古老的红藻也可有此结构，常由方解石或原白云石组成。

④ 线(柱)层纤结构：戴永定等称为柱层纤结构。纤体沿基点向一个方向辐射生长，纤体因周期性生长而产生层纹，它沿一个方向连续生长可以形成线状，但它和线纤不同的是没有生长基线，与层纤不同的是弯曲度很大，有辐射纹。在正交光下，纵切面呈放射状波状消光，横切面呈十字消光(图1-3)。线层纤一般垂直壳面，但也有平行壳面水平延伸者。常见于头足类、瓣鳃类和腹足类的外层。

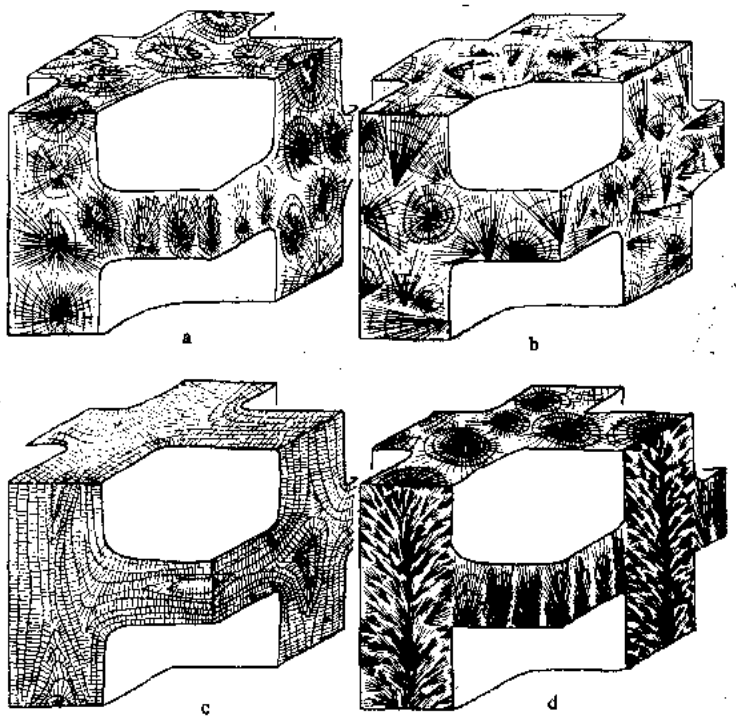


图1-2 各种纤状结构立体示意图(据Fcninger,A, and Flajs ,G, 1974)
a—球纤； b—锥球纤； c—层纤； d—线纤

(3) 片状结构

片状结构系由厚度<1μm 彼此近于平行的方解石或文石的片状晶体以各种方式叠积而成。常见于苔藓、腕足、软体动物和环节动物(龙介科)的栖管中。按片体叠积方式，进一步可分为平行片状、倾斜片状、交错纹片、复杂交错纹片和珍珠片状五种结构类型。

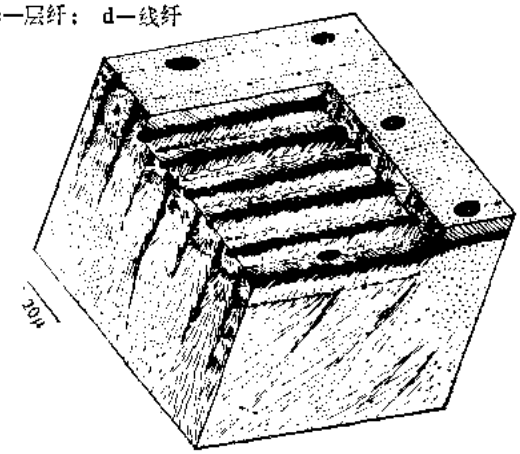


图1-3 线层纤结构立体示意图
(据Hads, 1972)

① 平行片状结构：由厚度＜1 μm 的方解石薄片或直径＜1 μm 的方解石纤体彼此呈水平状叠积而成。片体左右邻接形

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

成片层，光性c轴包含于小片中，左右邻接的小片光性一致，上下相邻的小片光性方位不同，因此在垂直片层的切面上，正交光下当片层平直时，呈现一致消光，片层弯曲时出现波状消光(图1-4)。平行片状结构是苔藓类、腕足类、龙介虫栖管和锥壳纲化石硬体的主要结构特征。在腹足类和瓣鳃类壳体的中层和外层也偶尔见到。

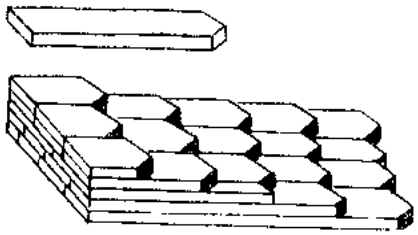


图1-4 平行片状结构立体示意图
(据小林桢一，1971)

② 倾斜片状结构：由厚约1—2μm的同向倾斜的方解石薄片叠积而成。片体斜交壳面或骨骼外形，但常与上覆平行片状层的片体相连，倾角逐渐变化，其倾斜方向与生长方向一致。单偏光下色浅，片稀疏，弯曲不规则，延伸较短。常见于龙介科栖管外层、腕足类内层、隐口目苔藓虫内层以及瓣鳃类、腹足类个别科属的中层。

③ 交错纹片结构：由厚约4—40μm的呈板状或楔状的文石组成的纹片交错叠积而成。两相邻的纹片倾斜方向相反，两相隔的纹片倾斜和排列方向相同。每个纹片都是数个文石小片体平行叠积而成，而文石小片体又是由许多纤细的文石小片条平行排列叠积而成，而且光轴方向一致，故正交光下以纹片作为独立的消光单位(图1-5)。此种结构仅见于某些瓣鳃类、腹足类、掘足类和软舌螺壳体的中层和内层。

④ 复杂交错纹片结构：纹片形状不规则，无一定规则界线，构成纹片基本单位的小片条光性方位也不一致，同一楔状体的纹片也显示交错性，正交光下任一切面的任何部份都表现为不规则消光。此结构仅见于某些瓣鳃类的内层和腹足类个别科属的内层或中层，多由文石组成，方解石组成者少见。

⑤ 珍珠片状结构：由厚<1μm、宽5—10μm的文石小片叠积而成，单个片体呈六边形、圆形或椭圆形，在生长过程中逐渐扩大、联成大片。珍珠片由文石针垂直片面排列而成，其c轴与片面垂直，片面平行于壳面或平行于生长线。珍珠层在单偏光下均匀透明，正交光下呈现大面积均一消光。珍珠层含有机质多，文石小片间夹有有机质薄膜，厚度均匀，隔若干片出现较厚的暗色有机膜，小片横向联结处亦有有机膜分隔，有机膜可垂直延伸达数层，并易裂开成垂直节理的横裂纹，将珍珠层分割为柱状，水平纹层再把柱体切割成许多小方块，每个方块或柱体成为一个独立的消光单位(图1-6)。此类结构为高级

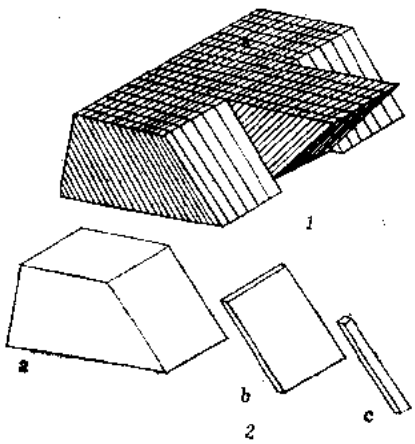


图1-5 交错纹片结构立体示意图
(据小林桢一，1971)
1—纹片交错排列；2—纹片的组成
a—纹片，b—小片体，c—小片条

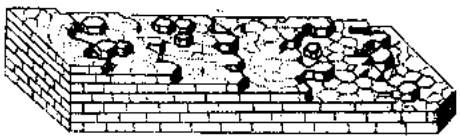


图1-6 珍珠片状结构立体示意图
(据小林桢一，1971)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

软体动物的主要特征，常组成头足类壳层的主体及某些瓣鳃类、腹足类的中层和内层。在瓣鳃类壳内生长的珍珠主要由这种结构组成。

（4）纤—柱(状)结构

系由方解石或文石组成的纤维状或柱状晶体垂直壳壁密集生长而成。纤维状或柱状体平直、延伸较长。按照其大小可分为玻纤和柱状两种结构。

前人在生物化石显微结构分类中，常把玻纤、柱状结构与纤状归为一类，称纤(柱)状结构(戴永定，1977)。但纤状结构(层纤、线纤、球纤、线层纤)从形态上看，纤体短小，常弯曲，而且是沿钙化基点、基线、基面倾斜或垂直生长，从生物演化观点来看，它们多出现于低等门类的生物硬体中；玻纤和柱状结构的纤体和柱体平直而纵向延伸较长，且垂直壳壁生长，多出现于软体类、节肢类等较高级的无脊椎动物的硬体中。它们在成因上似乎无内在联系。因此，笔者把玻纤、柱状结构与纤状结构分开，单独划归一类称纤—柱(状)结构。

① 玻纤结构：纤维状晶体宽度<0.5μm，纵向延伸较长，垂直壳壁生长，随壁的平直或弯曲作平行或放射状排列。单偏光下透明，因富有机质而常呈浅棕黄色，正交光下呈均匀波状消光。由于纤维状晶体在放大500倍的情况下难以分辨，故正交光下只能根据消光位辨别纤体方向。

玻纤结构是节肢动物如介形虫、三叶虫钙壳的主要特征，高级有孔虫如轮虫目、竹节石纲的光壳节石、腹足类的异足目和翼足目、某些瓣鳃类和头足类的有些科也具有此结构。玻纤结构主要由方解石组成，仅在软体动物中有文石组成。

② 柱状结构：柱体较宽，由方解石或文石组成，柱宽>5μm，横断面为正方形或多边形，长轴垂直或倾斜于壳面，柱体为独立的消光单位。纵切面上表现为独立消光的彼此平行排列的柱体，横切面上近似于粒状结构，以大小、形状较为一致而区别于后者(图1-7)。

柱状结构主要组成腕足类、瓣鳃类、腹足类、掘足类的肌泌层，位于肉茎和肌肉吸附区以及外套膜线。细小的柱状体可组成某些软体类和腕足类的外层。仅在某些瓣鳃类右壳外层(如珍珠贝科、江瑶科、扇贝科)、某些腹足类外层(如笠贝科)、某些腕足类的内层(如五房贝亚目和部分石燕贝亚目)等构成化石硬体的主壳层。

关于内部柱状层的成因，一般认为，当片状层停止分泌时，片间有机纤维破裂，从而分泌粗的棱柱，柱内保留有横向细层纹。电子显微镜下可见文石柱内含有机层纹，而且纵向上也被分散的纵向线分成块，相当于珍珠结构，方解石柱体也有类似现象，证实内部柱状结构系由片状结构演变而来，是老年期的特征，对外壳起加厚作用。

（5）单晶结构

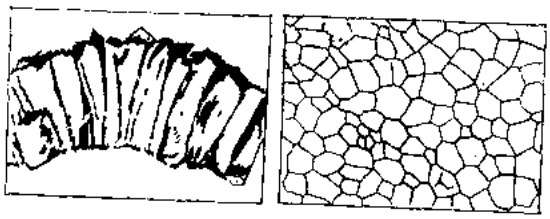


图1-7 柱状结构示意图
左—纵切面；右—横切面

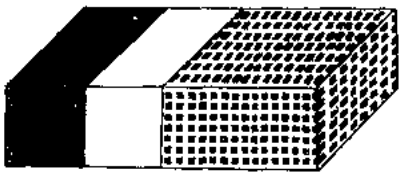


图1-8 连生单晶结构(左)和网格单晶结构(右)示意图

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

单晶结构系全部或局部由消光一致的方解石单一晶体或双晶组成。据尼森(Nissen, 1963)用x射线分析结果，认为消光一致的单晶实际上是由一般显微镜难于分辨的其c轴几乎完全平行排列的晶粒组成。单晶结构为棘皮动物的特征结构。根据单晶形态可分为连生单晶、网格单晶和薄壁单晶三种结构类型。

① 连生单晶结构：由消光一致的方解石单一晶体组成，有时可为双晶或多个晶体组成，常见解理纹，为海百合骨板的特征结构(图1-8)。

② 网格单晶结构：原生方解石单晶中的网格孔隙被外来的次生方解石单晶充填，二者c轴相互垂直，光性方位不一致，各自为单一消光(图1-8)，为海胆类的特征结构。

③ 薄壁单晶结构：仅见于窗格苔藓虫科的间壁、中棱及翁格达藻(*Ungdarella*)的细胞壁(丝体)中。壁厚和丝粗仅10μm左右，延伸较远。方解石单晶的c轴平行壁或丝的长轴或生长方向，因而呈平行消光，但翁格达藻因丝体细而在横切面及斜切面上呈波状消光。薄壁单晶也可由<1μm的隐粒方解石组成，其成因尚不清楚。

2．次生结构

次生结构通常又称为晶粒结构或次生晶粒结构。它是由原生结构在成岩过程中经过转化作用或重结晶作用转变而来。根据矿物晶体颗粒大小，可划分为次生多晶和次生单晶两种结构类型。

(1) 次生多晶结构

由>5μm的方解石晶粒彼此镶嵌而成，薄片中透明，光性不一致。此种结构可有两种成因：一是由文石组成的化石硬体，因成岩过程中文石向低镁方解石的转化，使原生结构遭受破坏而成。此种成因者晶粒一般粗大而明亮，大小比较均一，常见于绿藻、软体动物、六射珊瑚、水螅等骨骼中。另一种成因是非文石质骨骼的生物化石因重结晶作用或生物硬体的溶模孔隙被次生方解石充填而成，晶粒大小不如由文石转变而来者均一。

(2) 次生单晶结构

由原生晶粒进一步重结晶而成。它与原生单晶结构的区别是它的晶体干净明亮，而原生者富有机质，单偏光下呈灰色色调，表面较脏。

在生物化石的显微结构分类中，以往未分出次生结构，而把晶粒结构归属于粒状结构。但是，原生和次生结构二者成因不同，而且原生结构由粒状至单晶的演化能反映生物由低级到高级的演化规律，次生结构则不存在这种规律性。鉴于上述原因，余素玉(1981)提出应将晶粒结构作为次生结构单列一类，笔者认为是合理的而且是必要的。

上述各种结构类型在各生物门类中出现的情况见表1-3。

二、钙质生物化石显微结构演化规律

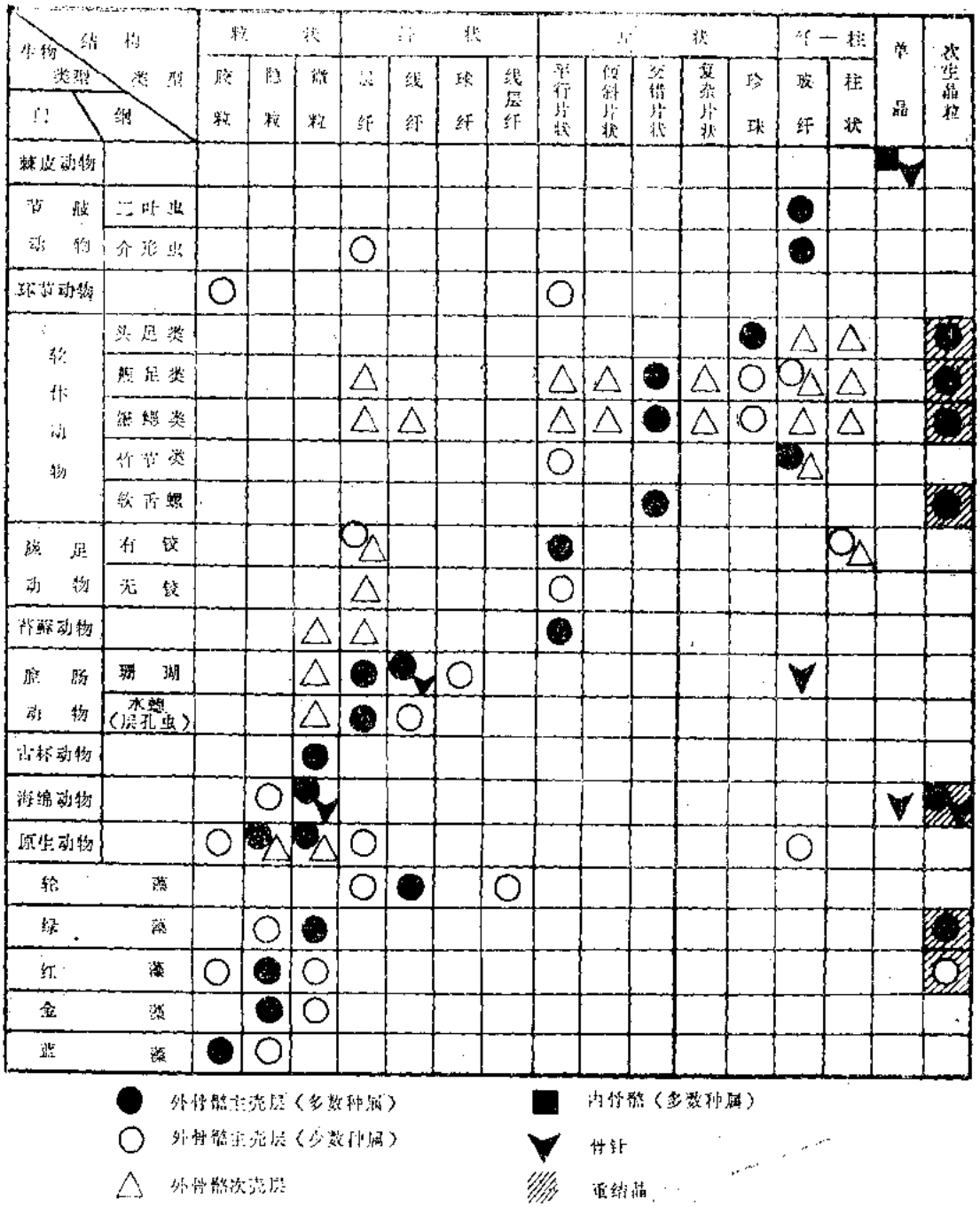
钙质生物化石显微结构尽管类型多样，但其发展演化是有规律可循的。根据戴永定等人的研究，生物硬体显微结构也和生物的软体一样，遵循着由低级到高级、由简单到复杂、再到更高一级简单的螺旋式发展演化的规律。

1．不同门类钙质生物化石显微结构的演化

遵循古生物学中无脊椎动物由低级到高级的演化顺序(参看图1-1)，与其相应的钙质生物硬体显微结构由低级到高级由简单到复杂的发展演化顺序是：粒状—纤状—片状

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

表1-3 钙质生物化石显微结构分布简表



—纤-柱(状)—单晶。图1-9概略地表示了生物演化和结构演化之间的关系。

原生粒状结构是低等生物(如钙藻)、原生动物(如有孔虫)、海绵、古杯动物的主要特征，但在比它们稍高级的生物如腔肠动物和低级苔藓虫硬体中还有保留，在腕足类、软体类等更高级的门类中，在其壳体的最外部壳质层下仅有残留。

纤状结构是腔肠动物硬体的主要特征，尤以珊瑚硬体中最为发育。在苔藓虫、腕足、软体类外层仍有保留，有孔虫类的高级种属和高等藻类，如轮藻的藏卵器也有出现。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

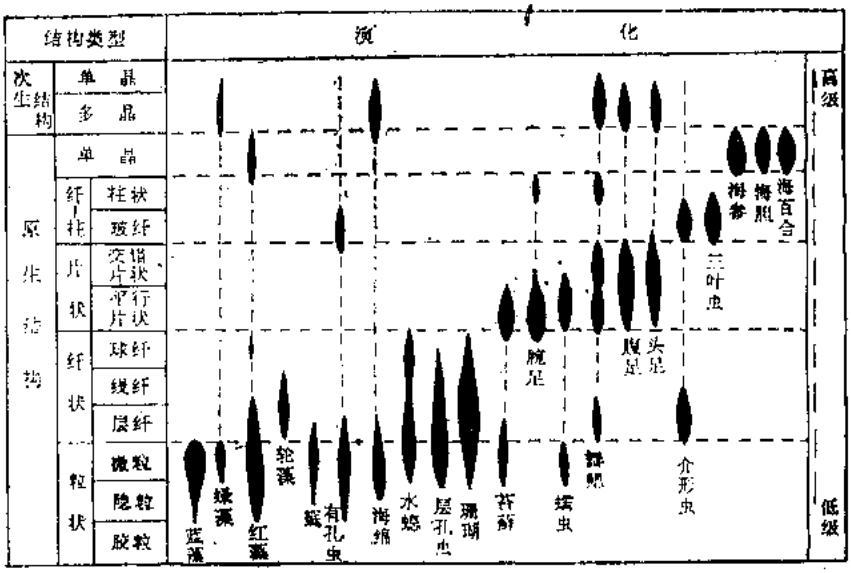


图1-9 钙质生物化石显微结构演化示意图(据余素玉，1979，略修改)

片状结构是蠕虫动物、苔藓、腕足、软体类生物硬体的主要特征。平行和倾斜片状结构多分布于前三类中。交错纹片结构出现于瓣鳃、掘足、腹足类和软舌螺硬体中，构成主壳层。珍珠片状结构主要发育在头足类，腹足类、瓣鳃类的内层和中层亦可见到。

内层柱状结构是由片状结构在肌肉吸附张力作用下演变而来，位于片状结构层之内，贴近肌肉，主要是腕足、瓣鳃、掘足、腹足等门类的特征。

玻纤结构是节肢动物硬体的特征，在某些软体动物的内层和外层、个别八射珊瑚的骨针、高级有孔虫类的轮虫亚目中也有出现。

单晶结构是无脊椎动物中最高级门类的棘皮动物的主要特征。

钙质生物硬体的矿物成分与生物硬体显微结构有一定的关系。随着生物硬体显微结构由简单到复杂的演化顺序，钙质生物硬体矿物成分演化的大致趋势是：原白云石—低镁方解石—文石—高镁方解石。粒状和纤状结构主要由原白云石、低镁方解石组成，部份由文石组成。片状和纤柱结构主要由文石组成，部分由低镁方解石组成。单晶结构主要由高镁方解石组成。

2. 同一门类钙质生物硬体显微结构的演化

同一门类的生物硬体显微结构亦存在着由低级到高级、由简单到复杂的趋异演化现象。藻类显微结构的演化顺序大致为胶粒—隐粒—微粒—纤状结构。32亿年前出现的蓝藻为胶粒结构，10亿年前开始出现的红藻多为隐粒结构，晚志留纪出现的轮藻的藏卵器多为纤状结构。

原生动物中有孔虫壳体结构由简单到复杂的演化顺序为：胶粒—隐粒—微粒—层纤—玻纤。寒武纪初开始出现的低级种属为胶粒壳，奥陶纪出现的为微粒壳，晚志留纪为层纤内层，二叠纪开始出现的高级种属为玻纤壳。

珊瑚骨骼显微结构由简单到复杂的演化顺序为层纤—线纤—球纤—玻纤结构。中寒武世出现的床板珊瑚为层纤，中奥陶世的四射珊瑚也以层纤为主，但志留纪出现线纤的隔壁刺，泥盆纪出现线纤隔壁，从中三叠世开始出现六射珊瑚，初期也有层纤隔壁，但

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

主要发育线纤，有的出现球纤结构，而现今的八射珊瑚骨针甚至出现玻纤结构。

苔藓虫和腕足类二者显微结构的演化顺序都是由纤状至片状。寒武纪开始出现的泡孔目和变口目苔藓虫，其幼年期具明显的粒状和纤状结构，早奥陶世开始出现的隐口目苔藓虫具明显的平行片状和倾斜片状结构，但仍由纤体平行排列而成，至中生代出现的唇口目和环口目苔藓类以平行片状结构为主。腕足类在寒武纪时期出现的正形贝及五房贝超科主壳层为纤状，有时夹有水平排列的纤状层，只是从奥陶纪才开始出现平行片状结构，至石炭—二叠纪，平行片状层在长身贝、戟贝等亚目中得到广泛发育。

软体动物壳体显微结构的演化顺序为平行片状—交错纹片—珍珠片状结构。震旦纪晚期最早出现的软体类动物的软舌螺其钙壳为平行片状与交错纹片层组成。腹足类最早出现于早寒武世，整个腹足类以交错纹片为主。瓣鳃类从腹足类中分出最早，中寒武世开始出现，主要为交错纹片与珍珠层，是无脊椎动物中壳层较复杂的一个纲。头足类从腹足类分出较晚，从晚寒武世开始出现，主要为珍珠层，壳层演化趋于更高一级的简单。

其他门类生物硬体结构的演化和上述有类似情况，仍显示出由简单到复杂、由低级到高级的演化趋势。

3．同一生物个体硬体显微结构的演化

同一门类的单个生物个体从幼年期至成年期，在发育过程中其硬体(壳层)显微结构的形成和演化，基本上按照有机质—粒状—纤状—片状的顺序进行，重现了其祖先系统演化的简缩史。如新珠网珊瑚，幼年期出现暗色隐粒结构，但在生长过程中纤状结构层与软体直接接触，生长迅速；到青年期，纤状层厚度完全超过隐粒层，并出现中柱；至成年期纤状层远远厚于隐粒层，中柱也发育成蛛网状。又如变口目苔藓虫幼年期体壁很薄，内层为隐粒结构，外层为层纤结构，并贴近软体，到成年期体壁增厚，为平行片状结构，体壁中间还可保存粒状结构。腕足类有铰纲胚胎期，外表壁细胞开始分泌角(壳)质层和很薄的隐(微)粒层，形成胚壳，幼年期壳质层和隐(微)粒层围绕胚壳继续生长，有的胚壳开始被纤状或细柱状层加厚，进入成年期，壳体已增大，使外套膜远离壳缘，外套膜表壁细胞突然开始分泌平行片状层，由于表壁连续分泌形成倾斜片状(有的为倾斜纤体排列而成)，有的有铰腕足类到老年期，肌停止分泌，纤体壁界线破裂，分泌粗的粒状层，多位于壳后部，起加厚作用。

上述实例表明单个生物个体壳壁显微结构的生成顺序是一个由低级到高级由简单到复杂的演化过程。

4．生物硬体显微结构组合的演化

随着生物由低级到高级的演化，其硬体显微结构组合的演化顺序为：单一结构的单层壳→同类结构的双层壳→异类结构的双层壳→异类结构的多层壳→高级简单的单层壳。

生物界低等门类如低等藻类植物、低级原生动物、古杯类、海绵动物等，其硬体差不多都是胶粒、隐粒、微粒等组成的单一结构的单层壳。到了原生动物较高级的类别如鞭亚目，壳体一般为隐粒外层和微粒内层，形成了同类结构的双层壳。从有孔虫的较高级的拟节房虫科开始，至腔肠动物的层孔虫、水螅、珊瑚、泡孔目苔藓虫，最后至有铰腕足类最低级的正形贝超科，壳体多由粒状外层和纤状内层组成，呈现为异类结构的双

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

层壳。多数苔藓类和腕足类为纤状外层和片状内层的异类结构双层壳，最外部很薄的壳质层和隐—微粒层在化石中较难保存。到了软体动物的瓣鳃类，出现了异类结构的多层壳，壳层一般为2—3层，外层为纤状，中层为倾斜片状和交错纹片，内层为交错纹片和珍珠层，最外层的壳质层和隐—微粒层在生长过程中被侵蚀掉，故难保存。腹足类壳体显微结构最多，一般为2—4层，最多可达6层，除外层有纤状、平行片状和倾斜片状之外，其余多为交错片状层，复杂交错纹片和珍珠层较少，多限于内层。腕足、瓣鳃、腹足类等还可发育肌泌层，一般位于壳体内层，有的位于壳层下部，由交错纹片或柱状层组成。头足类的壳层主要为高级珍珠层，并见纤状外层和柱状或玻纤内层。到了无脊椎动物中最高级的节肢动物和棘皮动物，硬体显微结构由复杂到达了更高一级的简单，出现了单一的玻纤结构和单晶结构。

上述各类生物硬体的壳层在发育过程中有先后早晚之分。一般离软体越远的壳层生长越早，结构越简单、越低级，称之为“早生层”，越接近软体者生长越晚，结构越复杂、越高级，称为“晚生层”。具有外壳的生物，壳体的外层为早生层，内层为晚生层，如双层壳有孔虫，早生层为外面的隐粒层，晚生层为贴近软体的微粒或层纤内层。有些生物的体内骨骼常被软体所包围，情况与前者相反，内部层为早生层、外部层为晚生层，珊瑚的隔壁，早生层为隐粒，晚生层为纤状，裸唇纲苔藓虫虫管壁早生层为纤状，晚生层为片状层。

三、钙质生物硬体的形成作用

依照上节所述，人们就会提出这样的问题：为什么不同类型的生物，其硬体会出现不同的显微结构？研究表明，这与它们硬体的形成作用有关。下面我们将从硬体的形成方式、分泌组织和造骨机理几方面加以说明。

1．钙质生物的造骨方式

按照骨骼硬体的钙质来源，造骨方式可分为生理作用、粘结作用和分泌作用三种。

（1）生理作用：低等藻类植物，如蓝藻和绿藻，在进行光合作用时，叶状体下部吸收了HCO_3^-和Ca^{2+}，而在叶状体上部以$Ca(OH)_2$分泌出来，同时与$Ca(HCO_3)_2$反应，围绕藻类的叶状体造成$CaCO_3$沉淀，形成鞘或套子。以这种方式形成的碳酸盐颗粒多为隐粒结构，晶粒不规则，含有机质极少，可与分泌作用形成者相区别。生理作用主要为低等藻类植物常见的造骨方式。

（2）粘结作用：生物在生长发育过程中能分泌有机质粘结周围环境中所能捕获的碎屑物质，如石英、长石、碳酸盐、玉髓及其他生物碎屑等，组成自己的外壳或硬体。如蓝藻可分泌粘液质粘结碳酸盐颗粒；钟纤虫目能分泌有机质粘结球石藻或硅藻壳以及细粒石英，形成胶粒结构的壳体；有些低等有孔虫能分泌几丁质粘结周围环境中的物质形成胶粒壳。因此，粘结作用乃是低等生物的主要造骨方式。

（3）分泌作用：大多数生物能从水体或食物中吸收碳酸钙并在体内或外表分泌出来，形成自己的外壳或内骨骼，植物中的藻类如红藻、部份绿藻和轮藻的藏卵器都已具有分泌钙质的能力，绝大多数动物都具有分泌钙质组成自己骨骼或外壳的能力。因此，分泌作用为绝大多数生物的造骨方式。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

按照分泌的新骨骼物质与老骨骼物质的关系，分泌作用可进一步划分为四种方式。

① 增大作用(Accretion)：生物发育过程中，不断增添新骨骼物质于现存骨骼中，这样可应用早期形成的骨骼物质。当幼年期壳体无用时，也必须保留，如腹足类。这种方式常见于无脊椎动物的外骨骼，主要起保护作用和提供肌肉吸附。

② 增加作用(Additon)：有些生物其骨骼由许多骨片组成，如海百合等棘皮动物，在其发育过程中不断增添新骨片于生长顶端，但旧骨片仍继续增大。

③ 脱壳作用(Molting)：生物在生长过程中因个体逐渐增大而发生周期性脱壳。脱壳作用常见于节肢动物，如三叶虫从幼虫至成虫脱壳可达十几次之多。

④ 变异作用(Modification)：动物在生长发育过程中骨骼不断增大，由于骨骼物质的再交代和再形成，其形态和结构也发生改变。这样新骨骼形态不依赖于老的，而又不经历无硬体的危险阶段。变异作用常见于较高级的脊椎动物的骨头形成中。

必须指出，许多生物并非只利用一种方式生长自己的骨骼，如包卷的头足类，既有壳壁的增大作用，又有隔壁的增加作用。

2．钙质生物的造骨组织

钙质生物的硬体结构特征取决于胚层结构和分泌钙质的胚层及其衍生组织的特征。因此，钙质生物硬体结构的演化必然为软体胚层结构及分泌组织的演化所控制。

藻类(除蓝藻外)和原生动物都是由原生质分泌碳酸钙，其中较高级的有孔虫和钟纤虫则由原生质分化出的“外质”分泌碳酸钙，这些碳酸钙分泌物形成无定向的粒状结构。有孔虫某些高级的科、目和轮藻藏卵器分泌的碳酸钙形成纤状结构，其原因尚不清楚。海绵动物虽已分化为二胚层，但内胚层为动物性细胞，外胚层为植物性细胞，其外胚层仍分泌粒状结构的碳酸钙，古杯类与海绵类分泌的情况相类似。

二胚层动物的腔肠动物门，钙质硬体由外胚层的造骨细胞分泌，一般呈纤状结构，但在低级的科属或幼年期、或部份造骨细胞仍保留了分泌粒状结构的能力。在珊瑚中由于体壁、横板、鳞板与外胚层平坦部份相接触，因而分泌层纤；外胚层褶皱产生隔壁，若褶皱内凹接触顶面为线形，则分泌层纤隔壁；若顶面为点状，则分泌线纤隔壁；若为不连续的点状接触，则分泌球纤隔壁，后一种情况很少。八射珊瑚骨针是由外胚层移入中胶层的造骨细胞分泌的，故出现线纤或玻纤。

三胚层动物的腕足、苔藓、软体类，钙质硬体都是由外胚层反折而形成的外套膜分泌的，内部主壳层即片状层都是由外套膜整个表面分泌的，在瓣鳃类和腕足类中，其边缘不超过外套线。外部的纤状层薄而均匀，由外套膜边缘分泌。最外层的角(壳)质层薄而透明，可用来保护钙质层不受碳酸溶解，该层下部有时有隐—微粒层，由外套膜的最外缘分泌。片状层的形成是外套膜周期性分泌的结果，因外套膜移动、渗出液成分的改变而形成各种类型的片状层。

环节动物和节肢动物虽然也是三胚层动物，但都没有外套膜，而且环节动物一般无硬壳，只有表皮，其中仅龙介科分泌钙质管，由表皮腺细胞和腹盾表皮细胞分泌，呈片状。节肢动物的外胚层只有一层基膜分泌，主要分泌层状几丁质，呈层状。仅在三叶虫纲和某些甲壳纲内层为钙质分泌物，多呈玻纤，无片状层。

三胚层中最高级无脊椎动物的棘皮类具有内骨骼，它是由中胚层分泌钙质形成的，

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

中胚层是由内胚层发生的，其分泌钙质仍呈粒状，但已形成为光性一致的单晶。棘皮动物(如海胆)分泌骨骼时，先在细胞内分泌钙质颗粒，然后转变为三射骨针，骨针扩大并顶端分叉，由于骨针相互接触，连成网格基板，基板再向上生长，形成三向立体网格，成为光性一致的单晶。

3．钙质生物的造骨机理

各门类生物都具有特定的结构类型，对于这些排列复杂、组构精巧的各种结构的成因，目前国际上流行着两种假说。一种为“间隔说”，一种为“模板说”。前者认为有机膜在空间作规则排列，其形态中的空心间隔决定了造骨矿物晶体的结构(大小、形状和排列)；后者认为，呈两向薄膜或单向纤维的有机基质(有机分子)，因自身晶格的大小和形状能形成有效的诱导空间，因而控制了生物晶体的核化和生长，使生物晶体与有机基质晶格的大小和形状相适应或相类似。巴特(Bate，1972)用电子显微镜研究某些介形虫钙壳，发现玻纤层被相互联结的几丁质纤维组成的网格所控制，和肯尼迪(Kennedy，1969)等研究珍珠层的结果一样，不但有晶间有机基质，而且还发现晶内有机基质，晶体大小也超过有机基质之间可利用的空间，因而证明模板说比间隔说更完善些。

根据模板说，可以认为生物分泌组织首先分泌有机基质于表面，再利用有机基质催化并保护渗出液中碳酸钙的沉淀。有机基质的分子结构，即有机分子的晶格大小、形状和排列，控制了生物晶体的结构(晶体的大小、形状和排列)。由于不同门类的生物往往有不同的分泌组织，它们所分泌的有机基质成分各不相同，因而其分子结构不同，形成的生物硬体结构亦不相同。即使是同一分泌组织，在不同生物门类、不同生物发育阶段以及同一分泌组织的不同部位，所分泌的有机基质的成分也有变化，因而导致了生物硬体的矿物成分和显微结构的一系列变化，形成各种复杂的壳层结构。

从低等植物的藻类到低等动物的海绵、古杯类，可能因缺乏有机基质的控制作用，为自发沉淀，故生物硬体结构呈光性杂乱的粒状。腔肠动物为二胚层动物，由外胚层分泌硬体，有机基质为β几丁质，分子结构呈单链状，故硬体结构呈纤状。软体动物、有铰腕足类、苔藓类为三胚层动物，分泌组织为外套膜，先分泌的有机基质为壳质，其分子结构由小片条组成，呈薄层孔状排列，因而使生物硬体碳酸钙沉淀为片状结构。节肢动物仍为外胚层分泌硬体，分泌的有机基质与腔肠动物不同，为α几丁质，分子结构呈双链状，故硬体结构呈玻纤状。高等无脊椎动物的棘皮类为三胚层动物，和脊椎动物一样，由中胚层分泌，所分泌的有机基质成分为胶原，有机分子结构呈立体网格状，因而使生物硬体钙质沉淀呈单晶结构。生物软体与硬体结构的演化关系见表1-4。

第四节　生物化石的形态和构造

一、生物化石的形态

生物化石的形态指的是生物硬体的形状和大小。它们是生物化石最直观的特征，也是化石碎片镜下鉴定的重要标志。

1．生物硬体的形状

生物硬体的形状指的是生物硬体发育生长的外形特征，即生物硬体完整的空间立体

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

表1-4　生物软体与硬体的演化关系表（引自戴永定，1977）

软体构造				分泌组织			有机基质		生物分类	硬体特征				
多细胞	后生	后口	三胚层	中胚层	次级	间叶细胞	胶原	网格状	脊椎	单晶	内骨骼	变异增加	磷质	
					初级				脊索	纤状层状			高镁方解石	
					基膜				棘皮	单晶		蜕壳粘结	几丁质	方解石
		原口		外胚层	腺细胞和腹盾表皮		α几丁质	双链	节肢	玻纤	外骨骼			钙质*
					外套膜		?		环节	片状 平行、倾斜		增大	文石	
							壳质	层孔状	软体	珍珠、交错纹片			方解石	
			二胚层		动物性细胞		β几丁质	单链	苔藓、腕足	平行(倾斜)			钙质	
	侧生				植物性(逆转)细胞				腔肠	纤状			钙质	硅质
单细胞			原生质		外质或伪足				海绵、(古杯)	粒状		粘结	几丁质 钙质	
多细胞			叶状体		细胞壁		?	?	原生					
									绿藻			生理	文石	原白云石
									红藻		粘结		高镁方解石	
单细胞									蓝藻		粘结	生理	方解石	

* 钙质指方解石，高镁方解石和文石三种矿物都可组成。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

形状。不同门类的生物都具有各自特征的外部形状，如原生动物的有孔虫多为旋管壳，腕足动物的硬体为双瓣壳。同一门类的生物，由于生活习性不同，其硬体外形亦可有所不同，如软体类动物的瓣鳃类具双瓣壳，而腹足类为中空的旋管壳。有些门类的生物营群居生活，生物硬体可形成枝状、层状、球状、块状等群体，如群体珊瑚、层孔虫、苔藓类等。有些无脊椎动物其硬体由许多骨骼部件组成，死亡后其硬体体解，其化石很难保存生物原来的外形，如高等无脊椎动物的棘皮类，硬体为内骨骼，死亡后体解为数目众多的单个骨板分散保存于岩石中，海绵动物及八射珊瑚死亡后其硬体常体解为骨针分散保存于地层中。脱壳生长的节肢动物如三叶虫，死亡后其外壳体解为头、胸、尾、活动颊等各个部件，分散保存于地层中。有些门类的生物除有完整的特征硬体之外，往往还有一些形状较为特征的附件，如腕足类的棘刺，外形为针刺状。生物硬体外形特征的差异为化石的鉴定提供了有利的条件。

这里需要指出，化石碎片在偏光显微镜下往往是化石硬体的某一个方向的切面，而非完整的立体形态。不同类型的生物在不同方位的切面上有不同的形状。即使同一生物硬体，甚至同一生物硬体的不同部位，由于切面方位的不同，其形状也有很大的差异。然而各门类生物的生长形态仍决定着切面外形的特殊性。如海百合的茎环，横切面为圆形，纵切面为板状；具双瓣壳的生物硬体(腕足类、瓣鳃类等)垂直壳壁的切面呈单向弯曲。因此利用生物硬体各特殊切面的特征形状，即可恢复其空间立体形状。当然，若化石破碎程度很高，切面的随机性过大，镜下所见到的外形则无法与其立体形状相联系。

2．生物硬体的大小

不同门类的生物，其个体大小往往有很大差异。在镜下某些生物硬体的特殊切面，其形态可能彼此类似，而其大小则可有很大差别。如介形虫与腕足、瓣鳃类相比，垂直壳壁的切面虽都是单向弯曲的新月形壳，但前者个体大小远小于后二者。另外，微体化石如有孔虫、介形虫、微体螺等，在镜下往往可看到完整切面，而一些大古生物化石如瓣鳃、腕足类等，即使是保存极好，在镜下也只能是部份切面。



图1-10 变口目苔藓虫的内部构造
a—虫室；b—间隙孔；c—刺孔

二、生物化石的构造

生物化石的构造是指生物硬体各部份的空间排列和相互之间的关系。它包括了硬体内部的孔、管、房室、隔壁、突起、腔、斑等等。例如绿藻类叶状体的中央茎、侧分枝，红藻的下叶状体和边叶状体，有孔虫的房室、隔壁，变口目苔藓虫切面上的卵圆形虫室、花瓣状的间隙孔及小而圆的刺孔(图1-10)，珊瑚的隔壁、横板、中柱、中轴，腕足类的假疹孔，以及各种造架生物(如古杯、珊瑚、层孔虫、苔藓等)形成的格架构造。这些构造是镜下化石碎片鉴定的良好的鉴别标志。

三、生物化石的形态分类

为便于显微镜下化石碎片的鉴定，余素玉(1978)曾根据化石的形态和构造，将无脊椎动物化石分为单壳、支架和针刺三类，将藻类分为无壳、薄壳、厚壳三类。这种分类具

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

有一定的实用意义。但将三叶虫、棘皮类分别归于单壳类和支架类尚欠合理，笔者主张将它们另列一类，即“节板类”。具体分类见图1-11，各类特征如下述。



图1-11 钙质生物化石形态分类图解(据余素玉，1979，略修改)

1. 无脊椎动物

(1) 单壳类

本类全部为具外壳(外骨骼)的单体生物，壳壁结构复杂，但壳体内部构造较为简单，形状为双瓣、管状，大小从微体至巨形者都有，生物门类为原生动物的有孔虫、腹足类、软体类、节肢动物的介形虫等。进一步可划分为三种类型。

① 双瓣类：包括介形虫、腕足类、瓣鳃类。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

② 直管类：管壳直或微弯曲，包括有孔虫和头足类的低级种属以及竹节石和软舌螺。

③ 旋管类：管壳呈旋管状，多被充填物充填，包括腹足类、有孔虫和头足类的大多数。

(2) 格架类

格架类又称支架类，绝大多数为群体，少数为单体，而且绝大多数为造架(造礁)生物。群体多半为球状、半球状、盘状、块状、树枝状、网状、层状等，单体常为锥状、杯状、圆柱状等。按其内部构造可进一步分为三类。

① 隔壁管架类：硬体内具隔壁构造，如古杯类和珊瑚类。

② 中空管状格架类：硬体内无隔壁构造而仅有空管或管内有横板者，如苔藓虫、蠕虫管、海绵动物。

③ 层架类：由水平状密集层和支柱构成支架，如层孔虫。

(3) 节板类

此类生物化石很少保存为完整的生物硬体，常见的是它们在死亡后自然体解的骨骼。它们多为较高等的无脊椎动物，如三叶虫、海百合等。按形态可分为两种类型。

① 节壳类：主要为节肢动物，包括三叶虫和甲壳纲中的部份生物类别，它们在发育过程中以脱壳形式使个体增大，因此作为化石保存的常是它们身躯硬体的各种部件，如三叶虫头鞍、胸节、尾部等。

② 骨板类：主要出现于高级无脊椎动物的棘皮类，它们具有内骨骼，保存成化石的为生物躯体部分的骨板。

(4) 针刺类

呈单向或多向延伸的针状或刺状。进一步可分为两类。

① 附件类：多属上述三类生物硬体的附件，如腕足类和海胆类的棘刺、三叶虫的颊刺等，为单向延伸。

② 骨针类：为某些生物骨骼的主要组成部分，而非硬体的附件，如海绵、海参、八射珊瑚的骨针。它们可为单向延伸，也可为两向或三向延伸，如海绵骨针，有的甚至呈现各种特殊形状，如八射珊瑚骨针。

2. 藻类

按形态和内部显微构造可分为无壳类、薄壳类、厚壳类三种类型。

(1) 无壳类：以斑点状和实心丝状体为基本单位，即所谓的藻斑点和藻丝体(藻线纹)。群体呈树枝状、丛状、团块状、层纹状，主要为蓝藻，也可能有绿藻的低级种属。

(2) 薄壳类：厚几微米至几十微米，一般不超过30μm。分为管状薄壳和球状薄壳两种类型。前者呈微细管状，多半是藻类丝状体边缘钙化形成的具薄壳空心的微管体，如蓝藻丝状体钙化形成的丝管；后者是具空腔的孢子及超微藻细胞的壳，可能是绿藻和红藻类的低级种属及金藻门颗石藻类的超微壳盘——颗石。

(3) 厚壳类：壳壁厚在30μm以上。壳体具固定的立体形态和显微构造，主要为各种藻类的高级类别，如绿藻、红藻的高级种属及轮藻的藏卵器等。

必须指出，上述化石的形态分类不反映生物的系统演化规律，不同于古生物学的系

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

统分类，它仅适用于化石碎片的鉴定。

第五节　化石碎片的鉴定步骤

化石碎片的鉴定和矿物、岩石的鉴定步骤类似，应分为宏观和微观观察两方面。

一、化石碎片的宏观观察

化石碎片的鉴定不能只局限于显微镜下，而首先应着眼于野外岩石标本和钻井岩心标本上生物的宏观观察。因为除微体以外的大古生物，在标本上更容易观察到它们的整体轮廓和空间立体形态。当同种生物个体数量较多时，更容易观察到生物硬体的各个部位，能使人们更全面地了解生物形态、大小和构造特征，从而根据它们确定生物所属的大致门类和种属。

在条件允许的情况下，最好能磨制岩石光面，这对于大古生物的宏观观察是非常有益的。因为光面观察不仅能获得同一生物硬体的多种切面来恢复生物的空间立体形态，而且能获得某些生物硬体的内部构造资料，有利于生物化石的准确鉴定。当然，光面的磨制和观察不仅对化石碎片的鉴定，而且对岩石结构、构造的观察也是极其重要的，二者可结合起来进行。

二、化石碎片的微观观察

化石碎片的微观观察是在显微镜下进行的。它对大古生物的鉴定能够弥补宏观观察的不足，而对藻类化石及微体古生物化石的观察则显得尤为重要。这些化石碎片的镜下鉴定应着眼于以下几方面。

1．化石的切面形态

切面形态是生物化石最直观的特征，它取决于生物硬体的空间立体形态。一般定向切面有横切面、纵切面、弦切面三种类型。

横切面为垂直生物硬体轴并通过中心的切面，稍有倾斜者称“斜横切面”。纵切面是与生物硬体轴一致又通过中心的切面，稍微倾斜者称“斜纵切面”。弦切面是平行生物硬体轴但不通过中心的切面，稍倾斜者称“斜弦切面”观察这三种切面，有利于恢复生物硬体的空间立体形态。由于化石破碎和切面的随机性很大，薄片内很难找到或找全上述三种切面。即便如此，大多数任意切面仍与生物硬体的空间立体形态有不同程度的联系。因此，在观察化石形态时要注意这种联系，以便按生物硬体的形态归类。

2．化石的显微结构

生物化石的显微结构是鉴别生物化石门类最重要的标志之一。镜下观察时应注意以下三方面。

（1）结构类型：一定门类的生物化石具有特定的显微结构，它们与生物门类由低级到高级的系统演化又具有规律性联系，故根据显微结构再配合硬体形态，即可确定生物化石的大致门类。

（2）壳层结构：不同生物化石其壳层结构不同，如单层壳、同类双层壳、异类双层壳、异类多层壳等等，它们是鉴别生物化石的重要标志。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

（3）生物硬体的成岩变化：重要的是生物硬体中矿物的转化作用和重结晶作用，它们常破坏生物硬体的原始结构。观察时要区分出原生结构和次生结构。如软体动物和部份绿藻，其硬体矿物成分多由文石组成，它们各自都有自己的特征结构，但文石经转化后变成低镁方解石，其原生结构也随之变为次生晶粒结构，观察时要注意鉴别。

3．化石的构造

显微镜下比较容易观察到生物硬体的显微构造，如藻类的丝管构造、枝孔构造、某些无脊椎动物的隔壁、房室、间隙孔、刺孔、疹孔等等，它们是鉴别生物门类、甚至是鉴别某些生物种属的重要依据。

4．化石的矿物成分

化石的矿物成分对鉴别某些生物门类有一定意义，但成岩过程中矿物成分的交代作用往往使原始矿物成分发生变化。因此在观察时应注意区分是原生成分还是次生成分。

5．化石出现的地质时代

一定的生物化石常出现在一定的地质时代，掌握这一点有助于未知化石的鉴定。例如，在观察中新生代岩石薄片时，发现有类似三叶虫的棱纤结构的化石碎片，但已知三叶虫只出现于古生代，这就排除了三叶虫的可能性，从而缩小了未知化石碎片的鉴定范围。常见的生物化石门类出现的地质时代见图1-12。

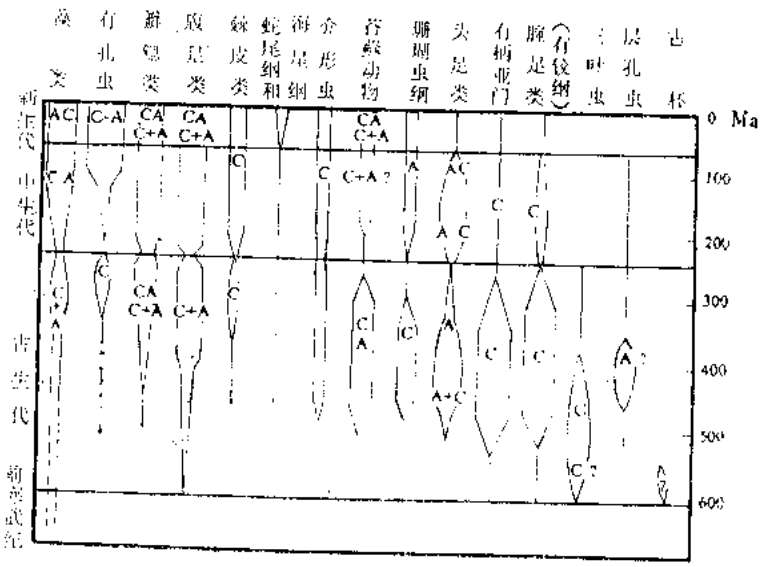


图1-12　常见的主要钙质生物门类的时代分布(据Lowenstan，1963)
宽度表示其相对数量；　C—方解石；　A—文石

在上述化石碎片鉴定的五个方面的标志中，前三个方面是最基本的标志，生物硬体和矿物成分可作为鉴定的辅助标志，而生物化石的地质时代只能作为鉴定的参考。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第二章　钙质藻类化石

第一节　概　　述

一、藻类的一般特征

藻类是一种单细胞或多细胞的低等植物。它具有如下特点：

第一、藻类构造简单，不具维管束组织，无真正根、茎、叶的分化，整个植物体本质上就是简单的叶，所有的细胞没有分工，即全部都有吸收养料、进行光合作用和制造食物的功能，这是与高等植物的根本区别，通常把这种植物体称为“叶状体”或“原植体”，把藻类植物称为“叶状体植物”或“原植体植物”。少部分高等藻类如轮藻、马尾藻、海带、昆布等，虽然也有类似根、茎、叶的器官，但其基本构造和功能与高等植物不同，而且这些藻类植物的根为假根。

第二、藻类的细胞体内具有进行光合作用的各种色素，如藻蓝素、藻红素、叶绿素、叶黄素、胡萝卜素等。它们的大多数能通过光合作用把吸收到的水分、CO_2变成碳水化合物，并吸收其他元素，在酶的作用下制造有机化合物来供养自身的需要，故绝大多数藻类是自养生物，这是藻类植物和细菌的根本区别。因为细菌虽然也是叶状体植物，但它没有光合作用色素，本身不能制造养分，营寄生或腐生生活，故细菌为异养植物。

第三、藻类的生殖器官为单细胞构造，行无性和有性生殖，和苔藓、蕨类植物类似，以孢子繁殖后代，故属于孢子植物。

第四、藻类分布极为广泛，从热带到两极，从海洋到陆地，从湖泊到沼泽都能生存，甚至在水体停滞的池塘中、臭水沟中亦能找到它的踪迹。另外，藻类的数量众多，如现代红海的海水微红，就是一种红褐色的藻大量繁殖的结果，又如现代大西洋北部有一片面积达450万km^2的海域长满了马尾藻，名为马尾藻海，素有“海上草原”之称，可见其数量之多。

二、分类

按照藻类所含色素的种类以及藻类的形态、构造、生殖器官等特征，可将藻类划分为十个门，即：

1．蓝藻门；2．金藻门；3．黄藻门；4．硅藻门；5．甲藻门；6．裸藻门；7．绿藻门；8．轮藻门；9．红藻门；10．褐藻门。

上述各门类中，以蓝藻、绿藻、红藻、轮藻、金藻、硅藻、甲藻可保存较多的化石。其中，蓝藻、绿藻、红藻、轮藻、金藻具有分泌或沉淀钙质的能力，故统称为钙藻。最具有造岩意义的钙藻为蓝藻、绿藻、红藻、轮藻四个门类，本章将重点介绍。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第二节　蓝藻门（Cyanophyta）

一、概述

1．一般特征

蓝藻又称蓝绿藻，因藻体含藻蓝素而呈蓝绿色，故而得名。它是藻类中最低等的门类。它的低等性表现在细胞内无细胞核，故又称原核植物。藻体中进行光合作用的色素弥散于细胞内，无特定结构的色素体。无有性生殖，其生殖细胞与营养细胞均不能运动，生殖作用主要靠细胞的直接分裂，故蓝藻又称“裂殖藻”。在丝状藻体繁殖时，常可分化出短的藻丝分段，叫藻殖段，从藻殖段再发育为藻丝体。

蓝藻多数为单细胞或单细胞群体，较高级者为单向延伸的丝状体。细胞壁由内外两层组成，内层薄而坚固，由一定数量的纤维素组成，外层为较厚的胶质衣鞘，成分为果胶质，俗称胶鞘或粘液质。除细胞个体外，团状细胞群体可被公共的胶质衣鞘包裹，在丝状体中，胶质衣鞘可呈平行、斜交或漏斗状层理（图2-1）。胶鞘富含钙质。蓝藻在生

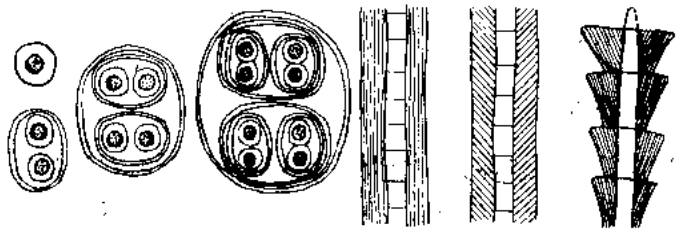


图2-1　蓝藻的胶质衣鞘（据Еленкин，1963）
左—个体和群体衣鞘；右—丝状体具平行斜交和漏斗状层理的衣鞘

活过程中不断分泌胶质衣鞘粘结碳酸盐物质，组成生物沉积构造，故蓝藻通常又称为“粘藻”。它们个体微小，肉眼难以观察，故又称“微观藻”。

2．形态和构造

蓝藻常见的形态有三种。

（1）斑点状：为单细胞或单细胞群体，呈圆形、椭圆形、卵形、长圆形、星点状的圆粒群等等，外围可见微透明的钙质衣鞘。群体者母细胞分裂成的子细胞聚集在一起，

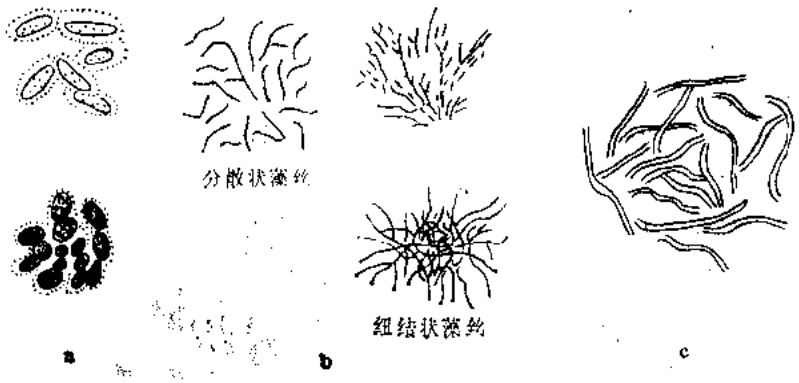


图2-2　蓝藻化石形态示意图
a—斑点状；b—丝状体；c—丝管体

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

母细胞的胶质衣鞘就成了子细胞的共同衣鞘(图2-2,a)。单个细胞大小为1—50μm，最大不超过0.2mm，为低级蓝藻的形态。

(2) 丝状体：由细胞分裂后子细胞沿一定方向紧密联结排列而成的丝状藻体，又称为“藻丝体”，实心，内外结构一致，常由隐粒方解石组成，藻丝直径一般<50μm，有单列的，亦有多列的。藻丝群常不定形，呈束状、发丝状、纽结状，一般不分枝(图2-2,b)，为较高级蓝藻的形态。

(3) 丝管体：由极细微的管状体组成，又称微管体，管径为10—30μm，管壁较薄而暗，中空，方解石充填，故中心比管壁亮，管内一般不分隔，管体亦不分叉，呈平直、弯曲或彼此缠绕的不规则形状等(图2-2,c)，为高级蓝藻常有的形态。

3．矿物成分

蓝藻化石一般由低镁方解石组成，前寒武纪的蓝藻由于当时的CO_2分压大，海洋中Mg/Ca比值高，故多由原白云石组成。现代蓝藻的衣鞘也可由高镁方解石组成。

4．显微结构

蓝藻绝大多数是通过粘结作用和生理作用固定碳酸盐组成自己的衣鞘或造岩，故一般具隐粒结构，部份见胶粒结构，仅在藻叠层的暗色纹层间和丝管体的管内可充填有较粗的微亮晶方解石。

二、蓝藻的主要类型

蓝藻构造简单，形态各异，绝大多数属微观型，而有些蓝藻仅保留其遗迹，这就为蓝藻的生物学分类带来一定困难，也是目前蓝藻分类很不统一的原因。

最早Pia(1927)把蓝藻分为两大类，把内有丝体组成的具明显显微构造的类型称为“孔层类”，把缺乏显微构造但能形成叠层石的类型称“绵层类”，后来又把孔层类只限于葛万藻和球松藻(1937)，而把其他分枝的丝状类型如直管藻、基座藻归为绿藻门的松藻科。在国内，南京大学古生物地史教研室(1980)按蓝藻化石的形态和聚集特点分为骨架蓝藻和非骨架蓝藻两类。前者由钙质丝管体组成，聚集成瘤状、球状或不规则状块体，如葛万藻；后者由球状单细胞和丝状体组成，结构均一，聚集成团块状、盘状、丛状或不定形，如色球藻、念珠藻、真枝藻等。余素玉(1980)根据钙化特点将蓝藻分为无壳类和薄壳类两种类型，前者相当于非骨架蓝藻，后者相当于骨架蓝藻。这种分类虽不符合生物学分类系统，但对藻类的鉴别具一定实际意义。在蓝藻分类中对于那些未保存固定形态而只保存遗迹的类型，由于它们分布广泛，遗迹构造明显，易于和其他具有固定形态的蓝藻相区别，笔者认为应单独归为一类，可称为“遗迹蓝藻”。故本书将蓝藻分为薄壳蓝藻、无壳蓝藻和遗迹蓝藻三类，下面分别介绍它们的主要类型及其特征。

1．薄壳蓝藻

由微细的钙质丝管体组成，丝管中空、管壁薄，属骨架蓝藻，相当于Pia的孔层类。主要类型有以下几种。

(1) 葛万藻(*Girvanella*)：钙质丝管体呈弯曲状，不分节，很少分叉，管径10—30μm，管内无隔壁，管壁薄而暗，隐粒结构，充填物为隐粒方解石，丝管体常相互缠绕形成各种形状的团块、结核或包壳块体。出现于寒武纪至白垩纪。我国华北中、下寒武统灰岩中常见(图版Ⅰ-6)。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

（2）奥尔通藻（*Ortonella*）：又称直管藻。由明显分枝状的丝管体组成，单个生长形态其大小为1—10mm。丝管体横切面呈圆形，平均直径为20—50μm，管体中空，内部一般未见分隔，管体相互平行或呈辐射状排列，以简单双分枝习性为特征，常聚集呈瘤块状或皮壳状，以管径粗和双分叉区别于葛万藻。有人根据钙化形式将其归入绿藻门的海松科。出现于志留纪至石炭纪（图版Ⅰ-8）。

（3）球松藻（*Sphaerocodium*）：由二分枝的丝管体组成，但分枝而不分离，一般高30-50μm，宽40-100μm，管壁具微粒结构，横切面呈椭圆形。横切紧叠的丝管而呈串珠状。其生长形状类似于叠层石。但后者是由非骨架蓝藻丝状体粘结在一起的质点机械加积作用而成的。球松藻出现于奥陶纪至三叠纪（图版Ⅰ-7）。

2．无壳蓝藻

由球状单细胞或实心丝状体组成，结构均一，群体聚集成团状、盘状或树丛状等，相当于南京大学分类中的非骨架蓝藻。其主要类型有以下几种。

（1）表附藻（*Epiphyton*）：有人称为附枝藻。由密集丛生的放射状分枝组成。丝状体横切面呈圆形、实心，不分节，体壁及内部结构均一，皆为隐—微粒结构，多次双分叉，形态近似小灌木丛或松柏枝，整体大小一般为1 mm或更小。出现于寒武纪至泥盆纪。我国华北寒武系碳酸盐岩地层中常见（图版Ⅰ-5）。其分类位置仍有争议，有人将它归属于红藻门。

（2）灌丛藻（*Frutexites*）：由不完全分枝的丝状体组成，一般垂直分布于层面上，并成簇排列呈“灌木”形状，高度小于1mm，出现于奥陶纪至泥盆纪。

（3）似念珠藻（*Nostocites*）：为弯曲的单一丝状体，衣鞘薄，钙化，丝体由排列成链状的球形细胞组成。出现于奥陶纪至石炭纪。

（4）粘球形藻（*Gloeccapsomorpha*）：由许多表面光滑的球形或椭球形细胞群体被公共衣鞘包裹而成，单个细胞直径为5μm，群体者直径达10—80μm，聚集形态呈胶质团块状。见于元古代长城纪至侏罗纪。

3．遗迹蓝藻

遗迹蓝藻通常也有人称之为“隐藻”，Pia的蓝藻分类中把它称之为“绵层类”。这类藻体不能形成固定的形态特征也不能形成具内部显微构造的钙质硬体，而仅以藻类的“遗迹”形式出现，是由丝状、球状的非骨架蓝藻群体分泌粘液质形成的有机薄膜捕获和粘结沉积物中碎屑颗粒而形成的斑点状、纹层状、凝块状等各种形态的藻类遗迹构造。它们从前寒武纪出现一直延续至现代。

遗迹蓝藻可以按照遗迹构造显示的不同形态，分为藻斑点、藻线纹、藻叠层（叠层石）三种基本类型。

（1）藻斑点：呈斑点状、有较明显的轮廓，隐粒结构，内外均一，富含有机质，色较暗，轮廓边缘的周围为微粒或微亮晶，可能为粘液质（衣鞘）粘结碳酸盐质点所致（图版Ⅰ-1）。若藻斑点的轮廓界限不清晰，仅呈模糊的斑痕状，可称为“藻迹”。

（2）藻线纹：呈线型、长短不一，曲直不定，线体富有机质而呈暗色，隐粒结构，边缘具微粒或微亮晶的衣鞘（图版Ⅰ-2）。

（3）藻叠层：又称叠层石，是藻类成因的一种明暗相间的纹层状构造。暗层为富藻纹层，颗粒细、富有机质；亮层为富屑纹层，碳酸盐颗粒稍粗，为微粒—微亮晶，这种

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

明暗相间的纹层反复出现构成叠层(图版Ⅰ-3)。它反映了藻类丝状体生长的两种方式：即向上生长和水平生长。藻类丝状体在条件适合时，快速繁殖，向上生长，很快在底质上形成藻席，藻类的粘液质捕获和粘结细小的碳酸盐质点形成灰质沉积物，成为富藻纹层；随着藻席被沉积物覆盖，藻类生长受到抑制，仅在沉积物中水平生长，繁殖速度慢，数量少，形成富屑纹层，当藻体穿过沉积物时，就在其表面向上快速繁殖、生长，重新形成新藻席，并捕获粘结新的碳酸盐质点，如此周而复始地进行，形成了藻、屑分层富集和纹层明暗相间的藻叠层(图2-3)。关于藻叠层生长的速度，有人推测，在潮间带因受潮水作用，一天之内可形成两层，高潮时形成浅色纹层。在潮下带，由于对阳光的需求，绝大多数藻类在白天生长，如裂须藻增长可达1mm，颤藻在夜晚生长缓慢，只增长一个

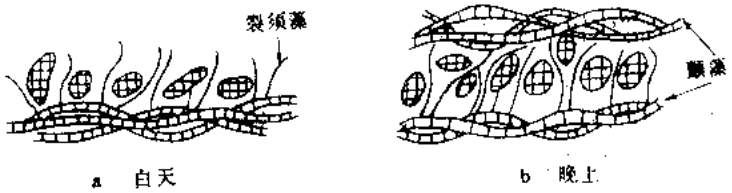


图2-3 藻叠层白天—黑暗生长示意图
a—白天，向上生长，捕获沉积物； b—黑夜，水平生长，粘结沉积物

水平薄层，结果形成一对明暗层。有人计算，以此速度增长，一个月内就能形成2—3cm厚的藻叠层。另外，明暗层的形成也可能取决于藻类季节的生长，如巴哈马碳酸盐台地潮下藻丛，只在晚夏生长(Moty，1965)。由于藻类的向阳性，光照越强，繁殖生长越快，再加上水流冲刷和混入物的影响，使叠层生长不均匀，越高处生长越快，导致叠层逐渐发生波状起伏，形成波纹状，甚至柱状、锥状等各种不同形状。

叠层石的形态多样，B.W.Logan，等(1964)以及梁玉左(1975)都分别提出了按形态分类的方案。梁玉左曾将叠层石分为层状、柱状、球状三种类型。

层状叠层石按叠层起伏情况又可分为水平层纹状、波纹状等类型。前者明暗层水平展布，后者具波状起伏(图2-4，a)。它们与无机成因的纹层的区别是藻叠层波状起伏与其上下层理方向不一致，即所谓与重力相反的纹层，而且富藻的暗层有机质丰富，并具有条带状、条痕状或凝块状显微构造，以及斑点状、放射纤维状、丝状、蠕虫状、网状等各种显微结构。

柱状叠层石也可出现不同类型，如圆丘状(包心菜状)、单柱状、分叉柱状、锥状(图2-4，b)。大小从数毫米至数米，一般为数厘米至数十厘米。

核形石是一种不营附着生长的球状、椭球状类型的叠层石，有人也称之为“藻灰结核”。它由明暗相间的同心纹层环绕或包裹骨屑或其他碎屑颗粒的核心而成(图版Ⅰ-4)。同心状藻纹层可呈不规则形状。核形石大小可从数毫米至数厘米(图2-4，c)。

有人认为藻鲕的成因和核形石类似，是强烈搅动的浅水地带藻类围绕悬浮的碎屑核心附着包裹周期性生长而成，只不过藻鲕颗粒比核形石小(藻鲕粒径一般< 2 mm)，同心纹层较规则。

(4) 凝块石：是蓝藻活动形成的碳酸盐凝块，形状不规则，内部未见同心纹层，具斑点状、放射状纤维结构，隐约可见藻丝体或藻细胞的痕迹，重结晶作用常破坏其原始

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

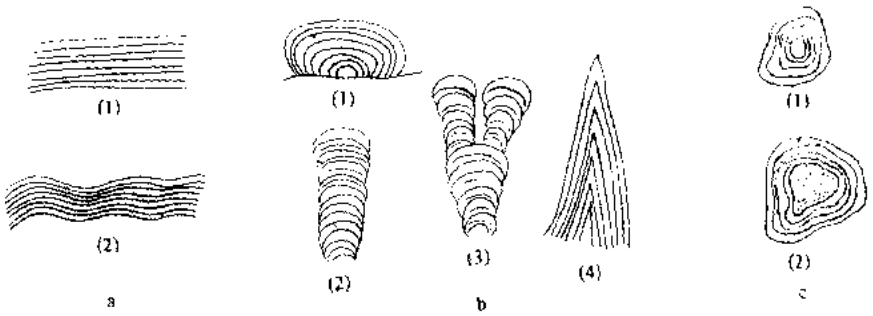


图2-4　叠层石形态示意图

a—层状：（1）水平纹层状；（2）波纹状；
b—柱状：（1）圆丘状；　（2）单柱状；（3）分叉柱状；（4）锥状；
c—核形石：（1）核心为陆源碎屑；（2）核心为藻层

结构，仅在凝块的边缘残留有有机质。凝块石常与核形石共生。就成因而论，二者的形成都是与藻类的活动有关，但凝块石缺乏藻类周期性生长而形成的同心纹层。

三、生活环境和地史分布

1．生活环境

现代蓝藻广泛分布于海洋和非海洋环境，适应能力极强，无论从热带到两极，从高山到海洋，从淡水到咸水，甚至在温泉中都能生存，尤以潮间带和浅水环境最为发育（图2-5）。其生活方式可在水体表层营漂浮生活，也可附着于水生植物或岩石上生活。有些薄壳蓝藻如球松藻，其生活仅限于海洋环境，葛万藻可出现于浅水的各种海洋环境。

叠层石绝大多数可能形成于低纬度地区的环境中，这是因为这些地区浅水海洋碳酸盐沉积作用占优势之故。

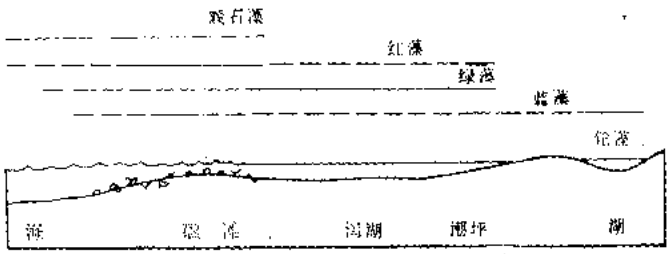


图2-5　低纬度地区理想剖面中蓝藻及其他钙藻的分布（据J.L.Wary，1977）

叠层石通常分布于海盆边缘和湖盆边缘的浅水地区。现代叠层石主要分布于潮上、潮间和浅水潮下地带。但也有出现于深水者，如澳大利亚西部泥盆系圆柱状叠层石都出现于水深＞45m的礁前相（Payford and Cockbain，1969）。

霍夫曼（Hoffman，1969）等人根据对现代叠层石的研究，发现其形态与沉积环境有密切关系（图2-6）。一般在高能环境，叠层石的高度和直径都较大，反之则小。在高能的海岬岸咀地区，叠层石明显地上隆为穹窿状，高约0.8m，中等能量的大海湾，叠层石呈平缓起伏状。霍夫曼还认为叠层石类型与水体深度有一定的关系，即 *Conophyton*→

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Jacutopyton→*Baicalia*→*Omachtenia*，反映了水体由深变浅的过程(图2-7)。

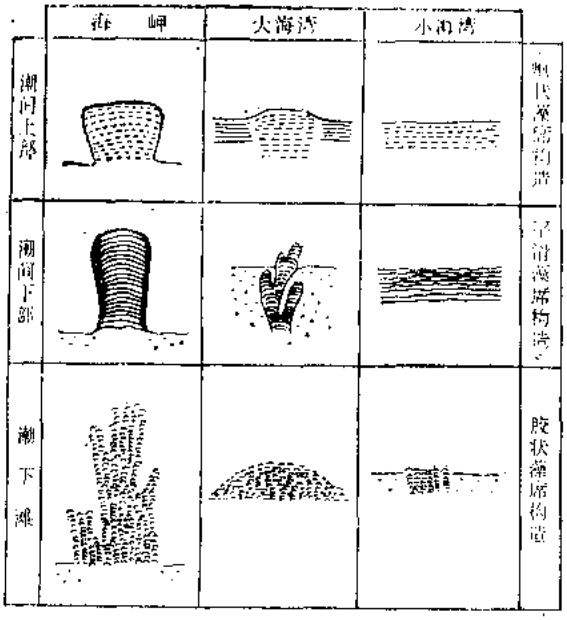


图2-6 叠层石形态与环境的关系
(据Hoffman，1976)

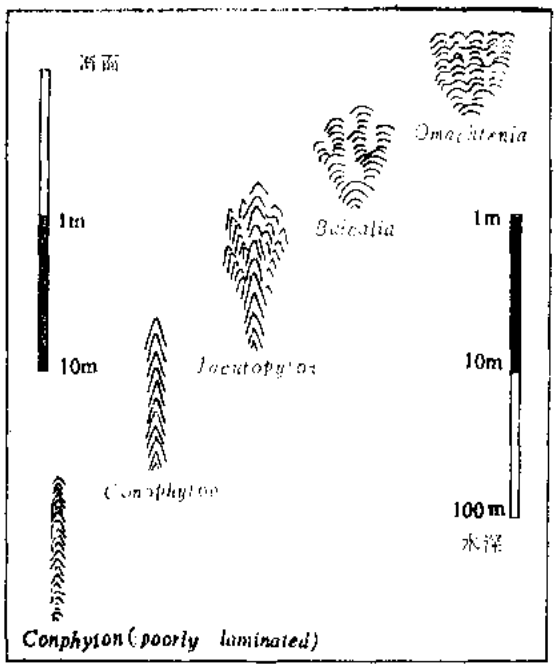


图2-7 叠层石类型与水深的关系
(据Hoffman，1976)

2．地史分布

单细胞蓝藻出现于32亿年前，多细胞蓝藻在20亿年前也已出现。但是大多数骨架蓝藻化石出现于古生代的岩石中，中生代少见，在新生代几乎没有记录。这种逆向演化的顺序至今未得到完全合理的解释。遗迹蓝藻的叠层石最早发现于南非太古代地层中，晚元古代(大约16.5—6.5亿年)达到了顶峰，中奥陶世以后突然衰减，尤其是柱状叠层石在中奥陶世以后几乎不再出现，只有层状、球状等叠层石延续至今。它们从早古生代至今日渐衰落的原因可能是因食水草的无脊椎动物大量繁殖之故，这些无脊椎动物不仅能啃食而且能钻穿它们，从而破坏了原生的叠层构造(Garrentt，1970)

第三节 绿藻门(Chlorophyta)

一、概述

1．绿藻的一般特征

绿藻是现代藻类中种属最多、分布最广的藻类。它的显著特点是其色素与高等维管束植物相似，以叶绿素为主，其次为叶黄素和β-萌萝卜素，使藻体呈草绿色，故而得名。绿藻由真核细胞组成，它有能运动的生殖细胞，具无性和有性两种生殖方式。绿藻细胞壁的外层为果胶质，内层一般由纤维素组成。

2．形态

绿藻的形态多样，低级种属多半是单细胞和单细胞群体以及多细胞丝状体。绿藻可

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

同样参与形成叠层石。较高级的种属可呈管状、膜状、分枝状，它们常通过生理作用或分泌作用形成钙质硬体而保存为遗体化石。

3．矿物成分和结构

绿藻钙化的硬体由文石组成，现代绿藻藻体上沉淀的多为极微小的文石针（0.3×5μm）。由于文石易发生转化作用，故古代岩石中绿藻硬体的文石已全部转化为低镁方解石，常呈现晶粒结构，并常遭受重结晶作用。

4．主要类型

现代绿藻有12个目，其中三个目有重要的化石代表，而且有分泌钙质能力者仅有管藻目的两个科，即粗枝藻科和松藻科，也是沉积环境分析的重要标志。下面将分别介绍。

二、粗枝藻科(Dasycladaceae)

粗枝藻科又称“伞藻科”，也有人称其为“轮生管藻科”。是重要的造岩和造礁藻类，属于海洋底栖生物。

1．形态和内部构造

粗枝藻属于海生绿藻，常以假根固着于岩石或其他物体上。其原植体(叶状体)外形一般呈圆柱状，也有呈棒状、球形、卵形、伞形等等，既有不分叉分节者，也有分叉分节者。绿藻的原植体中央是一个直立的中轴，又称“中央茎”，多是一个中空的大细胞，又称“茎细胞”或“轴细胞”。如果原植体分叉、分节，中央茎亦分叉、分节。中央茎呈圆柱形、棒形，分节者呈串珠状。其分节的节片可呈球形、椭球形、腰鼓形、圆筒状等，大小一般在1—3mm，个别长达数厘米，中轴四周生出许多辐射状的轮生侧分枝，称为一级侧分枝，向外可以再分，形成二级、三级，最多可达四级侧分枝(图2-8，a，b)。侧分枝围绕中轴常按四种形式排列：一种是无规律排列(非均匀节)，二是排列成有规律的轮(均匀节)，三是排列成轮，且侧枝聚集成簇(变化节)(图2-9)。生殖器官为孢子囊，常呈球形、卵形或圆柱形，可生在中轴内、二级侧枝或二级枝间。藻体能分泌钙质，钙化作用一般可通过两种方式进行：(1)碳酸钙围绕中轴和侧枝沉淀，包围整个中轴和侧枝形成钙质外套，藻体死亡后，软体腐烂分解，留下中轴和侧枝的铸模(图2-8，c)；(2)从藻体表面向藻体内部钙化，形成碳酸钙的鞘，这种形式的钙化程度弱，钙化作用达不到一级侧枝和中轴，仅覆盖于侧枝外部，保存化石较少。钙化后的中央茎呈圆柱状、棒状的空腔，钙化后的侧枝常形成管状的孔，称侧枝孔，孔径较大，一般为20—40μm，许多侧枝孔组成所谓的枝孔构造。中央茎和侧枝孔常被围岩物质或亮晶方解石充填。

2．代表性化石

粗枝藻科进一步按照中轴和侧枝的形状、大小、交角、空间排列和钙化程度划分属。据估计曾经有120个以上的化石属已被描述。目前粗枝藻科仅剩下10个属，是一种趋于灭绝的孑遗藻类。现择其常见者介绍如下。

(1) 米齐藻(*Mizzia*)：原植体(叶状体)分节呈念珠形，化石常为单个的节片。每个节片的中央茎(中轴)由于在节的连接处收缩而形成腰鼓状，仅有一级侧枝。这些侧枝在中央茎周围排列成交错的轮生体，靠近外部其直径突然放大，形成喇叭状，侧枝孔的

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

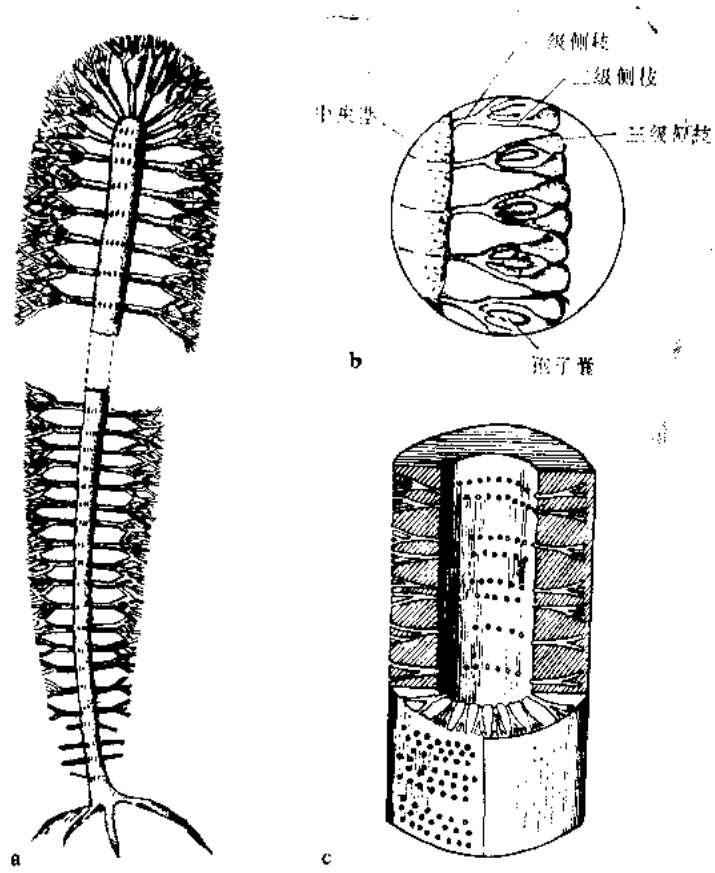


图2-8　粗枝藻科原植体形态及内部构造示意图
a—原体植形态；　b—内部构造；　c—钙化后藻体的一段

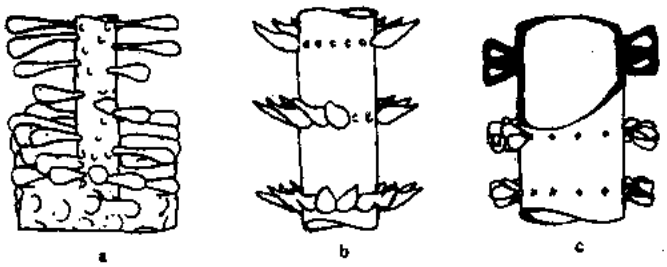


图2-9　粗枝藻科侧枝排列类型(据Pia，1920)
a—非均匀节；　b—均匀节；　c—变化节

孔径约0.1mm。中央茎宽约2mm，厚约0.3mm，钙壳具晶粒结构(图2-10)。出现于二叠纪(图版Ⅱ-1)。

(2) 始角藻(*Eogoniolina*)：叶状体(原植体)呈大头棒状，横切面呈椭圆形，中央茎小，钙壳厚，侧枝垂直中央茎生长，孔径粗，呈稍微膨大的圆锥形，末端浑圆，孢子囊可能在侧枝中(图2-11)。出现于二叠纪(图版Ⅱ-2,3)。

(3) 蠕孔藻(*Vermiporella*)：叶状体呈圆柱状，以大角度分叉，常近于90°(图2-12)，常发生弯曲或扭曲，蔓生的可能比直立的多。中央茎粗，柱状，钙壳薄，具一级侧枝，垂直中央茎生长，具不规则排列(非均匀节)，侧枝孔呈短而紧密排列的圆管状，

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

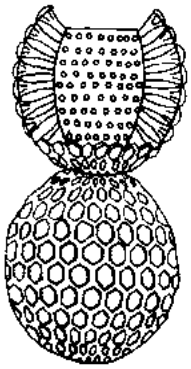


图2-10　米齐藻的形态和内部构造复原图



图2-11　始角藻复原图

在与侧枝垂直的切面上形成规则的网眼状。属于较原始的粗枝藻，藻体钙化作用较弱，保存化石多为其碎片。出现于奥陶纪至二叠纪(图版Ⅱ-4,5)。

(4) 假蠕孔藻(*Pseudovermiporella*)：与蠕孔藻类似，叶状体呈圆柱形，由不规则的扭曲钙质管组成，钙壳较厚，侧枝垂直管壁呈紧密辐射状排列，侧枝与中央茎之间有一常被黑色有机质污染的钙质内壁(衬管)，使侧枝与中央茎不连通。出现于二叠纪。

(5) 双孔藻(*Diplopora*)：叶状体呈圆柱状或棒状，具有一个可变直径的中央茎，一级侧枝常呈三个或六个一簇出现，在不同种当中，这些侧枝的形状和长度是变化的。钙壳厚薄不均匀，但总的较厚，孢子囊发育于中央茎内。出现于二叠纪至三叠纪。

(6) 圆孔藻(*Clypeina*)：叶状体呈长圆柱状，横切面圆形到椭圆形，中央茎较粗。侧枝呈紧密排列的轮生体，侧枝轮的间隔较宽(图2-13)。孢子囊存在于侧枝下端。出现于二叠纪。

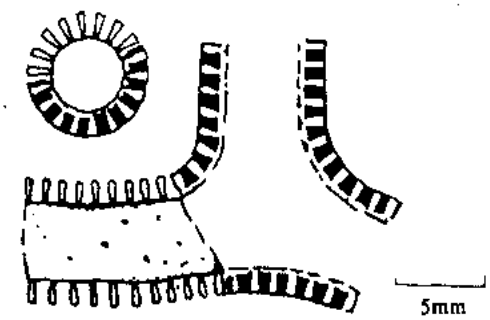


图2-12　蠕孔藻二分叉叶状体剖面图
(据Pia, 1920)



图2-13　圆孔藻复原图
(据Morellet, 1981)

(7) 伞轴藻(*Cymopolia*)：为二叉分枝式的分节叶状体，高达25cm(图2-14)。单个节是圆柱状的，具有较粗的中央茎，从中央茎上发育规则的一级侧枝轮。这些一级侧枝

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

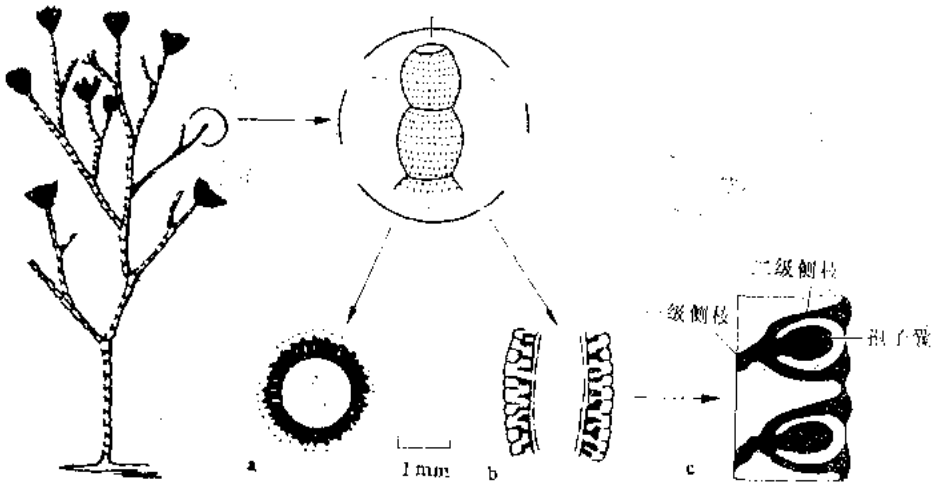


图2-14 分节的伞轴藻的外形
a—节片横切面；b—节片纵切面；c—侧枝及孢子；

常分裂为四个二级侧枝和一个孢子囊空腔，二级侧枝延伸到外表面，形成密孔形式。植物死亡后总是脱节成单个节片。出现于白垩纪至现代。

3. 钙球(*Calcisphere*)

钙球为一中空的球状体，直径约70—200μm，由内腔、体壁(体壳)、体刺三部份组成(图2-15)。体壁厚3—30μm，具同心层构造，一般1—2层，最多三层，体壳外常见花瓣状、放射状、耳状及尖刺状的体刺，但不易保存，在岩石中常见的为无体刺的钙球。体腔多为泥晶或亮晶方解石充填。壳壁和体刺皆为放射状排列的针状方解石组成，而且多具共轴生长，甚至体腔充填物亦形成共轴生长，在正交光下显示出十字消光(图版Ⅱ-6，7)。

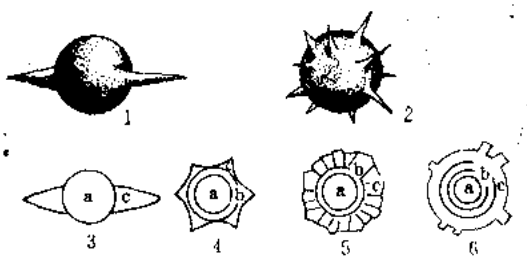


图2-15 钙球基本结构示意图(据余素玉)
1—2：钙球的立体形态；3—6：钙球的切面形态
a—体腔；b—体壳，c—体刺

钙球常根据体刺的有无和形态特征进行分类，如圆形、橄榄形、多刺形、花瓣状、舵轮状钙球等。也可根据体腔内方解石充填物结构特征划分，如泥晶、泥亮晶、多晶、单晶钙球等。

关于钙球的成因，仍属争论问题。它们曾被归属于各种植物和动物群。Stanton(1963)认为钙球代表植物孢子或生殖体的某些形态。Rupp(1967)认为其形态和结构类似于现生粗枝藻的生殖囊。Marsalek.O.S(1975)描述了南佛罗里达造钙球的伞藻。这些研究表明，钙球可能属于粗枝类的孢子，故我们将它暂放在这一节里介绍。

钙球常出现于循环受到限制的浅水沉积环境，多出现于静水或弱动荡水沉积的泥晶灰岩、泥晶生物灰岩、生物泥晶灰岩中，白云岩中极为少见。多与藻类、介形虫、有孔虫及少量腕足类、腹足类化石碎片相伴生。泥晶灰岩中的钙球结构清晰、壳体完整，有时局部具轻微的泥晶化。在高能的亮晶颗粒灰岩、亮晶砂屑灰岩中，有时可见一定数量

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

的钙球，但常无体刺，壳体遭受磨蚀而出现凹痕或破碎，可能是异地搬运的结果。

4．粗枝藻科的演化趋向。

粗枝藻在漫长的地质历史进程中，和其它生物一样经历了由简单到复杂的发展过程。它们的演化着重表现在藻体形态、内部构造和生殖细胞出现的位置等方面。

（1）藻体形态的演化：随着地质时代的由老到新和藻体的由低级到高级，叶状体形态演化的顺序是：圆柱形—鼓锤形—球形—串珠形—伞形等。

最古老的粗枝藻呈不规则弯曲的圆柱形，以后逐渐复杂化。直立圆柱形出现于奥陶纪，但在石炭纪至三叠纪多见；鼓锤形出现于二叠纪，但在中生代、尤其在侏罗纪后常见；伞形虽出现于泥盆纪，但以现代的伞藻更为典型。

（2）侧枝的演化明显地表现在下列三个方面：

第一，侧枝由不分枝到分枝。早古生代的粗枝藻以不分枝为主，从晚古生代起，分枝类型逐渐增多，到中生代，尤其在侏罗—白垩纪，则多次分枝，甚至达三级以上。

第二，侧枝的形态由简单的披针形逐渐膨大变粗，由于贮存孢子囊的需要，最后变为球形。

第三，侧枝的排列方式由非轮生式（非均匀节）变为轮生（均匀节），最后演化为有规律聚集成簇的复式轮生（变化节）（见图2-9）。最古老的粗枝藻为非轮生，晚古生代多为轮生，到三叠纪已普遍演化为复式轮生。

（3）孢子囊的演化：原始的较低级的粗枝藻中轴粗、侧枝细、孢子囊位于中央茎内，称为“内孢型”，古生代的粗枝藻多为此类型；到了中生代，粗枝藻中轴变细、侧枝变粗，孢子囊迁移到侧枝内，称为”枝孢型”；进一步演化，孢子囊贴在侧枝上或二级侧枝间，有的形成生殖盘（如伞藻），称为“离孢型”，这种类型开始出现于侏罗纪，多见于第三纪，现代的粗枝藻全属此类型。

三、松藻科（Codiaceae）

松藻科又称“海松藻科”，也是重要的造岩绿藻，为温暖海洋的底栖植物。

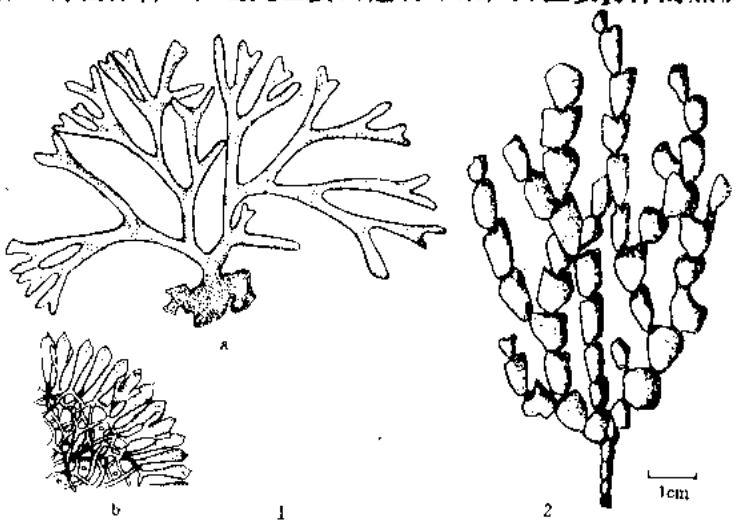


图2-16　松藻科外形

1—刺海松（*Codiumfragile*），a—藻体外形，b—藻体横切面；
2—仙掌藻（*Halimeda*）的直立生长习性

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1．外形和内部构造

藻体外形呈直立分枝状、分节的串珠状、仙掌状，具假根附着海底生长(图2-16)。单个节片呈椭球状、扇状或手掌状，大小1—2mm。藻体也可构成包壳或结核状。

藻体节片的内部由髓部和皮层两部份组成。髓部即中轴(中央茎)，它由许多管状的分叉丝体交织而成，丝管错综稀疏，中部大体与轴部平行，向外则与轴斜交或垂直；皮层由许多紧密排列的丝管状侧枝组成，这些侧枝与主轴垂直，来自于髓部，有的膨胀为囊状体。丝管直径十至数十微米(图2-17)。钙化一般从表面开始而向内扩展，皮层钙化强烈，厚约50μm，故构造显示清楚。髓部钙化微弱，构造显示模糊。钙化在叶状体和丝管体之间进行，形成丝管的铸模，丝管形成的铸模孔常被次生亮晶方解石充填。

由上述可知，松藻科与粗枝藻科在叶状体的内部构造方面有所不同。前者髓部虽钙化微弱，但可见交织的管状丝体，外部侧枝孔较细；后者中央茎内部管状丝体无钙化作用，中央茎为一空腔，外部侧枝孔较粗。

2．代表性化石

松藻科常按照生长形态、内部构造和生殖器官进行属的划分，目前大约有15—20个具有直立生长习性的化石属被描述。现择其具代表性者作简要介绍。

(1) 双管藻(*Dimorphosiphon*)：叶状体分节，节片圆柱状，长约1 cm，平均直径0.5mm。内部丝状体分化简单，髓部是由一束平行于叶状体长轴的粗管状丝体组成。皮层由较细的丝管体贯穿，丝管体呈高角度或大致垂直于髓部排列。出现于奥陶纪至志留纪。

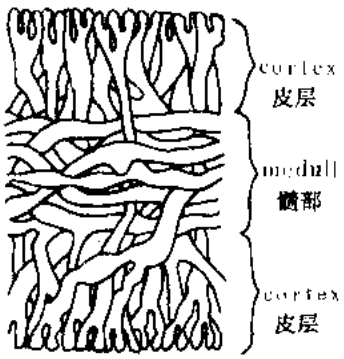


图2-17 松藻科(仙掌藻)皮层和髓部构造示意图
(据J.L.Wray，1977)

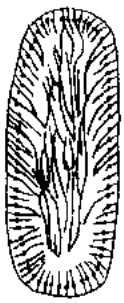


图2-18 液海松藻节片示意图

(2) 液海松藻(*Succodium*)：为分枝的钙质松藻，叶状体分节，节片圆筒状，末端浑圆。内部构造较复杂，由三部分组成。即由分叉的丝状体(髓丝)组成髓部，丝体沿叶状体长轴排列，钙化微弱；由不规则的交织的膨胀孢子囊组成亚皮层(次皮层)，孢子囊的膨大部份密集地分布在同一水平上，形成亚皮层和皮层之间的分界，钙化强烈；由很细的丝状体组成外皮层(图2-18)。出现于二叠纪。

(3) 卵石藻(*Ouccodium*)：为直立分枝的松藻，高几厘米。节片形状变化为简单的圆柱体或球状体，长达2mm，直径一般<0.5mm，节片两端开口，髓部未钙化，空心状，皮层的钙质壁保存了纤细的穿孔网格。出现于晚白垩世至始新世。

(4) 仙掌藻(*Halimeda*)：为著名的海生钙藻。藻体直立，分叉分节生长(见图2-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

16,2)。钙化的节片被弱钙化的节点分隔。节片形态变化从扁平到次圆柱状。藻体死亡后，常体解为单个节片。节片的髓部区由较粗的纵向丝管体组成，皮层部份又发育横向的丝管体(图版Ⅲ-1)。

仙掌藻钙化作用强烈。钙化从节片外部开始，并向内部继续发展，较老的节片比年轻的节片钙化更彻底。叶状体原始矿物成分为文石，后转化为低镁方解石，形成晶粒结构。节片的内部构造常被保存下来，而生殖器官(孢子囊)则未被保存。仙掌藻属从中生代以来的整个地质历史中，一直是大量沉积物的生产者。

四、绿藻的生活环境和地史分布

1．生活环境

绿藻能适应各种生活环境，海洋、淡水、半咸水均可生存。现代绿藻90%生活于淡水，仅10%生活于海洋。而管藻目的粗枝藻科和松藻科属于海生绿藻。

粗枝藻科主要栖息于温暖浅海。现代粗枝藻最常出现于热带和亚热带海洋中，少数在温暖的温带海洋中生活，比较喜欢正常盐度的海水，个别属种如伞藻，则能忍耐从超咸水到半咸水的盐度变化和温度的广泛变化。粗枝藻的深度范围从低潮面以下延伸到约30m的水深，而大多数现生粗枝藻生活水深约5m，水深在10m以下数量减少，在几十米深处则很少出现。大多数粗枝藻繁殖于砂质和泥质底质上，少数以假根附着于贝壳等坚固的物体上，常出现在受保护的浅水礁后泻湖及强波浪活动带以下的低能环境中。

松藻科大都生活于温暖海洋的潮下带。现生松藻科的典型代表——仙掌藻及其有关的属生活于热带海洋(25℃+等温线)，部份生活于亚热带海洋中。生活深度从低潮面以下至100m深处，多数常生活于几米深的浅水地带。松藻大多繁殖于砂、泥底质上，少数固着于坚固的物体上。由于这些藻结构脆弱，故通常生活在波浪作用微弱的安静低能的泻湖和陆棚环境。

现生粗枝藻科和松藻科的生活环境对解释相应化石在地史上的环境范围提供了依据。现将二者的生活环境归纳于表2-1。

表2-1　现生粗枝藻科和松藻科的生活环境

环境因素	粗枝藻科	松藻科
温度	热带和亚热带；少数种在温暖的温带海洋中。	热带(25℃+等温线)；少数生活在亚热带海洋中。
深度	低潮面以下至深约30m±；常生活于水深<5m的地区。	低潮面以下，可延伸到水深100m处；通常只生活于几米的海水中。
盐度	大部份为正常海洋，有些种能忍耐超咸水或半咸水。	正常海洋
底质	砂、泥底质；有些种附着于坚固的物体上。	砂泥底质；几个种附着于坚固的物体上。
水动力状况	低能，在强波浪活动带以下或受保护的地区。	低能，在强烈的波浪活动带以下。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2．地史分布

原始单细胞绿藻远在18亿年前就开始出现，它们可能参于蓝藻造叠层石的作用。但是，骨骼绿藻的出现开始于显生宙，并一直延续到现在。

粗枝藻科从早寒武世开始出现，最古老的粗枝藻化石发现于西伯利亚寒武系地层中。在漫长的地史时期中，经历了三次繁盛时期(图2-19)。第一次繁盛时期始于奥陶纪，延续到志留纪。当时不但种属复杂，而且数量众多，分布广泛，在有些地区可成为重要的造岩生物，如波罗的海沿岸的奥陶纪灰岩主要是粗枝藻组成的。但当时的粗枝藻大多构造简单，以圆柱形为主，侧枝多不分枝，排列不规则。志留纪末加里东运动给暖海生长的粗枝藻带来不利影响，种属和数量急剧减少，并日趋衰落。第二个繁盛时期开始于石炭纪中期，延续至二叠纪，成为当时重要的造岩和造礁生物，如川南下二叠统的藻灰岩，粗枝藻极其丰富，为藻滩沉积。二叠纪末海西运动导致粗枝藻的衰落，早三叠世到达低潮。第三次繁盛时期开始于中三叠世，侏罗—白垩纪时发展到顶峰，出现了许多新属种，藻体的侧枝多次分枝，出现了离孢型孢子囊。第三纪末粗枝藻急剧衰落，许多属种均已灭绝，现今仅残留10个属，分布于有限地区，成为孑遗植物。

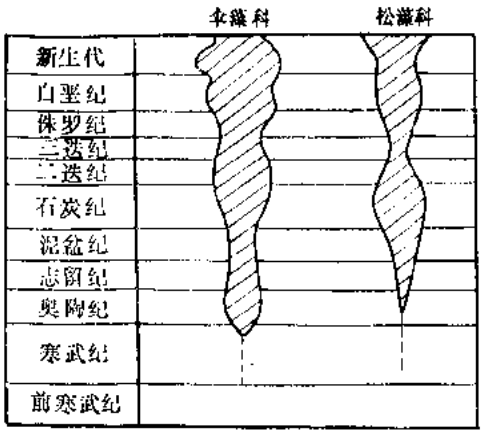


图2-19　粗枝藻(伞藻)科和松藻科的地史分布

松藻科化石最早发现于北美晚寒武世，从奥陶纪起得到广泛发展，瘤状和直立分枝的类型均已出现，但化石的种类和数量在石炭纪以前的地层中发现较少。石炭纪早期是松藻科发育的顶盛时期，种类和数量增多，分布广泛，成为当时重要的造岩藻类。二叠纪中晚期开始衰落，三叠纪更为贫乏。侏罗纪晚期又开始繁盛起来，分布广泛。白垩纪末，瘤状、皮壳状类型基本灭绝，但著名的仙掌藻开始出现，第三纪时期迅猛发展，代替了老的分节松藻，成为现代最占优势的绿藻。

第四节　红藻门（Rhodophyta）

一、概述

1．一般特征

红藻是比较高级的藻类植物，它以具有特殊的色素及有性生殖作用区别于其他藻类。红藻除含有叶绿素、叶黄素、胡萝卜素和藻蓝素外，还含有占优势的藻红素，因此大多数红藻都呈现一种特殊的红色，故而得名。如人们日常食用的“紫菜”，即为现生红藻的一个属。

红藻门具无性生殖和有性生殖两种生殖方式。有性生殖都是卵形生殖，过程较为复杂，是高级和进化的表现。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

红藻藻体有单细胞和多细胞体两种。单细胞和单细胞群体属于低等红藻，出现较少。最原始的红藻为真核单细胞植物，属于薄壳类。我国河北曲阳元古界蓟县系雾迷山组硅质白云岩中曾发现外形与鲕粒近似的单细胞红藻化石(张昀，1978)，这些细胞化石的外部均有一层较薄的隐粒结构的壳，有的细胞还保留着分裂繁殖时的状态。低等红藻也可分泌粘液质，粘结碳酸盐颗粒，参与形成叠层石。绝大多数红藻为多细胞藻体，属厚壳类，为高等藻类植物，分布广，数量多，是重要的造岩、造礁藻类，本节将重点介绍。

2．形态

多细胞红藻除少数由简单的丝状体组成外，多数是由许多复杂丝状体组成的圆柱状或膜状藻体。复杂的丝状体有单轴型与多轴型之分。前者具单一的中轴丝，由中轴丝向各方向生出侧丝形成皮层；后者由许多中轴丝组成中心髓部，由它向外生出侧丝，被胶质包围组成皮层。藻体外形呈圆柱状，分枝或不分枝，也有呈皮壳状、结核状和树枝状者。镜下的红藻碎片常呈椭圆状、哑铃状以及片状、棍状、板状、叉状分枝的柱体等。

3．成分

绝大多数红藻的矿物成分为高镁方解石，仅少数科属如裸松藻科由文石组成，而在前寒武纪的古红藻为白云石组成。

4．显微结构

红藻细胞壁分泌的碳酸盐质点常$<1\mu m$，故红藻化石硬体多具隐粒结构，细胞内充填矿物晶体稍粗，呈微粒结构。高等红藻的胞子囊和生殖窝充填矿物为亮晶。裸松藻科常因文石转化而呈现次生晶粒结构。翁格达藻科的细胞丝体由光性一致的碳酸盐颗粒组成，C轴方位与生长方位一致，故形成薄壁单晶结构。

5．分类及重要的科

红藻门仅有一个纲，即红藻纲，下分两个亚纲，即真红藻亚纲和紫菜亚纲。目前已发现的最重要的化石红藻为真红藻亚纲中的珊瑚藻科和管孔藻科。

在红藻分类中，生殖器官乃是分类的重要依据。由于化石红藻的生殖器官往往不易看到，其分类不得不根据形态比较，致使有些藻类化石的分类地位至今仍有很大争论。德国的Pia(1920)最早认为裸松藻是一种伞藻，1937年他又把它划归为红藻门。翁格达藻的分类位置至今仍存在疑问，属分类位置未定的红藻。

下面我们将分别介绍常见的几类化石红藻。

二、珊瑚藻科(Corallinaceae)

珊瑚藻科是隐丝藻目(Cryptonemiales)中最大的一个科，它包括了所有现代分泌钙质的红藻，碳酸钙沉淀在细胞壁之间，使藻体强烈钙化，内部构造被清楚地保留下来，因此它具有较完整的化石记录，这给红藻的研究工作带来很大方便。珊瑚藻是白垩纪和新生代重要的造礁生物，是海相碳酸盐岩重要的骨骼组份，是形成珊瑚岛的主要成分之一。

1．外部形态与内部构造

珊瑚藻科最常出现两种生长形态。一种是呈包覆状生长的不规则包壳状、结核状、

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

非直立生长的坚硬分枝状(图2-20，1、2、3)，常称为直链藻亚科(Melobesiae)，包壳厚达1mm，结核状者直径可达10cm。另一种为直立生长的分枝状和分枝分节状，称为珊瑚藻亚科(图2-20，4、5)。

直立分枝分节珊瑚藻，枝分化成节与节间，节部由许多轴丝组成，节间宽而钙化。钙化的节片(节间)由非钙化的节连接在一起。单个节片形状变化由圆柱状到扁平状。藻类因死亡而脱节，因此化石常以分离的节片形式出现(图2-21)。

珊瑚藻科的内部基本构造是由紧密排列的分隔的丝状体(纵向细胞壁)和隔壁(横向细胞壁)组成。其细胞壁大量钙化，形成矩形、方形网格，边长约20—100μm。按细胞层排列状况，可把内部构造划分为下叶状体和边叶状体两部份(图2-22)。

在皮壳状珊瑚藻中，下叶状体组成藻体的基部，称为基部下叶状体，它由多层或单层细胞层组成。多层细胞层可形成弯曲状、共轴状或羽状等形式。边叶状体位于基部叶状体之上，由垂直于底质的丝状体组成。丝状体是由下叶状体顶部继续向上发育而成。由于细胞层发育程度的差异，常分别显示出纵向构造为主和以横向构造为主的两种类型。前者丝体比横隔壁发育，丝状体显示清楚，横隔壁可以不在同一水平上；后者则恰恰相反。不同种属边叶状体发育程度不同，有些属边叶状体很薄，甚至不存在，有些属边叶状体发育很宽。边叶状体的上部实际上还有一个很薄的细胞表层，称为上叶状体，但因未钙化而未能保存。

直立分枝分节珊瑚藻的内部构造与皮壳状者类似。其下叶状体位于枝或节片的中心部位，组成中心髓部，称为髓部下叶状体，由拱形细胞层组成，横隔壁相连成拱形同轴状，隔壁间距由20—160μm，不同属种各不相同，丝体与横隔壁近于垂直，呈共轴放射状。边叶状体位于髓部外缘，称边缘边叶状体，也称为皮层，亦由细胞丝状体和隔壁组成。

珊瑚藻科具有独特的生殖构造。它具有孢子囊和生殖巢(生殖窝)两种形式。珊瑚藻由孢子产生，在孢子囊中发育，这些孢子囊可单个成排出现，也可发育成复合孢子囊聚集在生殖巢中。生殖巢亦分为单孔和多孔(复孔)两种类型。单孔型生殖巢顶端中央有一个大口孔作为孢子的排泄孔；多孔型生殖巢顶端有许多口孔作为孢子的排泄孔(图2-23)。

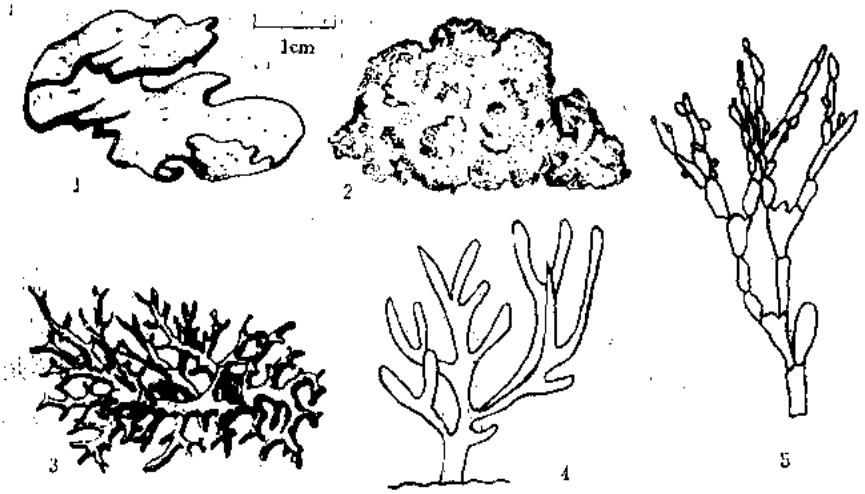


图2-20　珊瑚藻科的外部形态

1—不规则包壳状；　2—结核状；　3—坚硬分枝状；　4—直立分枝状；　5—分枝分节状

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

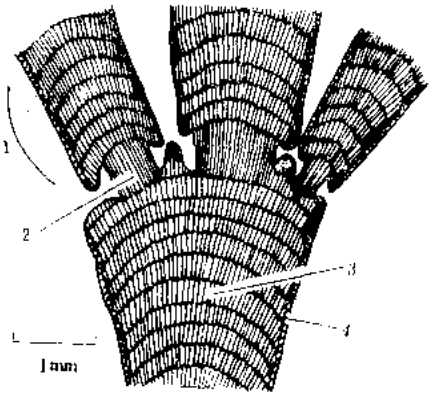


图2-21 有节珊瑚藻钙质节片的内部构造
1—节间；2—节部；3—髓部丝状体；
4—皮层丝状体

在皮壳状珊瑚藻中，这些生殖构造常发育在叶状体的表面上，并保存在边叶状体组织内，可发育成排出现的单个孢子囊或单孔、复孔生殖巢。有节珊瑚藻仅有单孔生殖巢，它长在髓部和皮层的组织内。在髓部组织内发育的生殖巢称中轴或边缘生殖巢，侧形生殖巢形成在皮层组织中。

2．代表性化石

珊瑚藻科按形态分为壳状珊瑚藻（直链珊瑚藻亚科）和分节珊瑚藻（珊瑚藻亚科）两类。前者常见的化石类型有古石枝藻、石叶藻；后者常见的有蟹手藻、让氏藻、珊瑚藻等，现分述之。

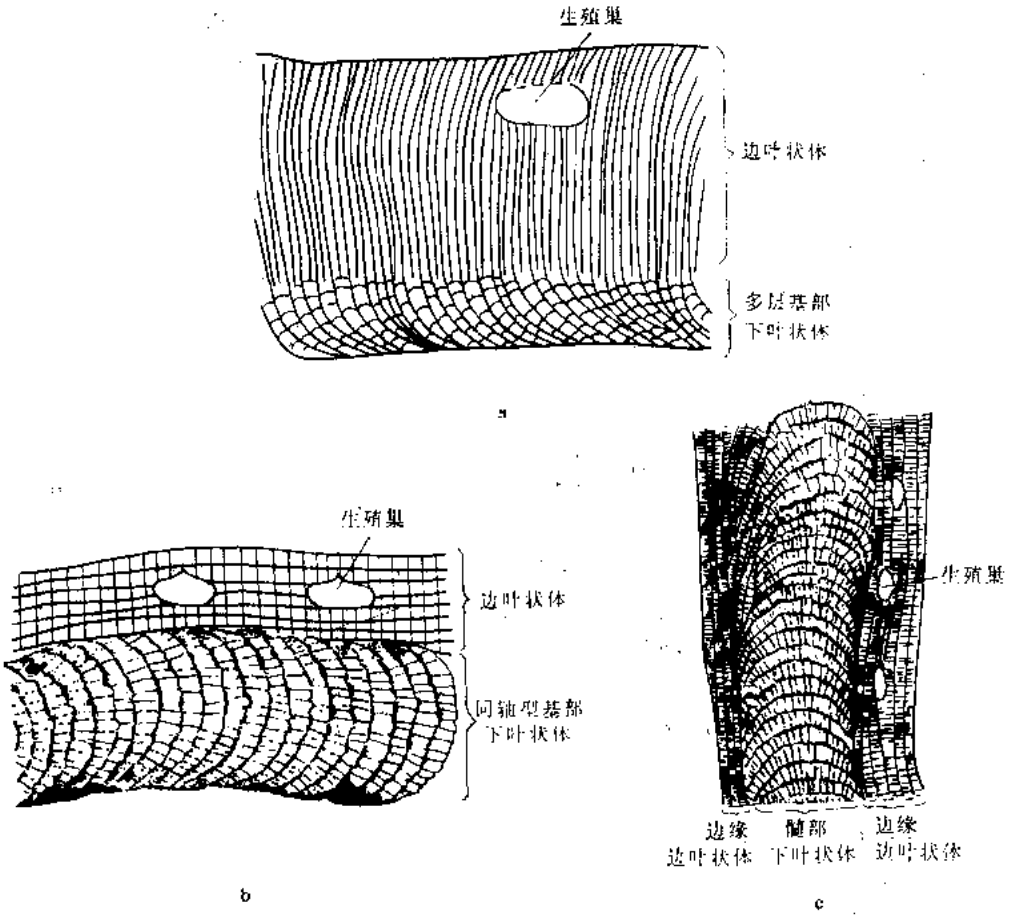


图2-22 珊瑚藻科藻体内部基本构造

（1）古石枝藻（*Archaeolithothamnium*）：藻体呈皮壳状、瘤状或短分枝状，内部构造由下叶状体和边叶状体组成。下叶状体较薄，由弯曲的多层细胞组成，但不同轴，平

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

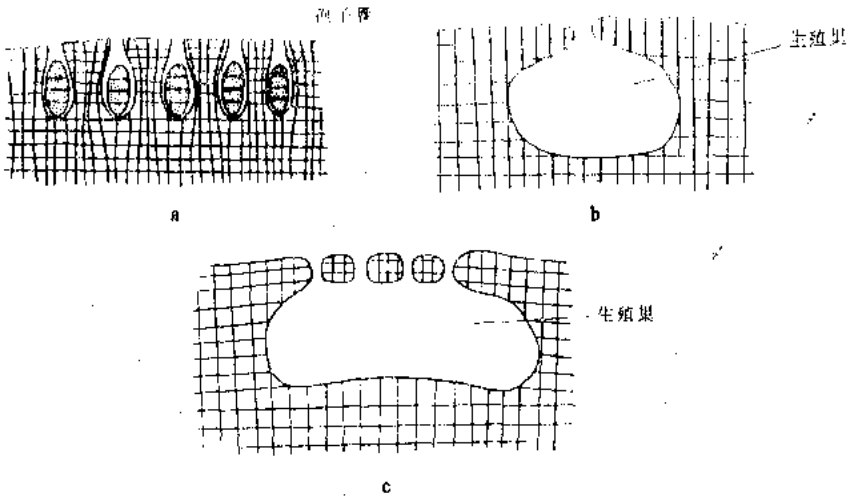


图2-23 珊瑚藻的生殖构造
a—单个孢子囊； b—单孔生殖巢； c—多孔生殖巢

行于底质发育。边叶状体较厚，由规则的细胞列组成。孢子囊不在生殖巢内，常呈透镜状松散地成排出现，这是它与众不同的重要特征。有人认为古石枝藻是所有壳状珊瑚藻的祖先。出现于侏罗系至现代(图版Ⅳ-1)。

(2) 石叶藻(*Lithophyllum*)：藻体呈壳状或分枝状，下叶状体为共轴型，在少数情况下由不规则或弯曲的单细胞列组成。分枝状者具有发育良好的共轴型髓部下叶状体，并由一较薄的边缘边叶状体所围绕，具单孔型生殖巢。出现于白垩纪至现代。

(3) 蟹手藻(*Amphiroa*)：为有节珊瑚藻，外形具圆柱状或扁平状节片，髓部组织由一列或多列的长细胞与短细胞相互交替组成，致使钙化后的横隔壁间距长短相间，边叶状体(皮层)呈带状或层状包壳，生殖巢出现在边缘。出现于白垩纪至现代(图版Ⅲ-3)。

(4) 让氏藻(*Janla*)：藻体为细长的二叉分枝的叶状体，由圆柱状节片组成，髓部细胞具典型的楔状，长而且宽，形成连续拱形细胞列，边叶状体由一层薄的皮层丝状体组成，生殖巢出现在轴部位置。出现于晚白垩世至现代(图版Ⅲ-4)。

(5) 珊瑚藻(*Corallina*)：藻体具羽状分枝，单个节片形状变化从圆柱状到棒状，髓部组织由规则的弓形细胞层(列)组成，边叶状体(皮层)薄而不明显，生殖巢出现在轴部位置。出现于始新世至现代(图版Ⅲ-2)。

三、管孔藻科(Solenoporaceae)

管孔藻科为已灭绝的海生红藻，常与海绵、四射珊瑚、层孔虫、苔藓虫、腕足动物、有孔虫等共生，为正常海洋底栖生物。

1. 外形与内部构造

管孔藻科大部分呈球状、半球状、瘤状块体，少数呈皮壳状，分枝状类型很少。大小从数毫米至数厘米。藻体内部由许多紧密排列的辐射状或分枝状的纵长细胞列经钙化而成的细胞丝状体组成。其构造与珊瑚藻科类似，但与珊瑚藻科的区别在于：

(1) 细胞直径比珊瑚藻科者大得多，细胞横切面呈多角形，极少为圆形，而珊瑚藻科的细胞横切面呈矩形或圆形。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

（2）细胞丝体中分隔细胞的横隔壁发育较差，有的几乎近于缺失，而珊瑚藻科分隔细胞的横隔壁发育较好，常横向连接呈弓形。

（3）细胞组织比较简单，几乎没有什么分化，不象珊瑚藻科那样在正常情况下分异为下叶状体和边叶状体两个部份。

（4）生殖器官一般没有象珊瑚藻科那样的串珠状孢子囊和椭圆形的生殖巢，这可能是因生殖器官长在藻体表面未能钙化保存之故。

综上所述，管孔藻科的内部构造要比珊瑚藻科简单、原始，而且管孔藻科出现的时代从震旦纪至晚第三纪，比珊瑚藻科出现的时代早得多，故有人推测管孔藻科可能是珊瑚科的祖先。

2．代表性化石

管孔藻科的属种划分主要根据丝状体隔壁（横向细胞壁）的有无、排列是否规则、横切面上细胞的形状等。常见的代表性化石有管孔藻、拟刺毛藻、管节藻。现分述之。

（1）管孔藻（*Solenopora*）：藻体呈圆形的结核状块体。纵切面上最明显的特征是丝状体有呈直立的或放射状的壁，丝状体内细胞间的横隔壁不存在或者不明显。横切面上细胞呈圆形或多角形，细胞平均直径约30—50μm。生殖器官尚不了解，可能是外生的或非钙化的。出现于寒武纪至第三纪（图版Ⅲ-6，7）。

（2）拟刺毛藻（*Parachaetes*）：生长形状与管孔藻类似，经常呈半球形结核状块体。细胞组织由致密放射状排列的细胞丝状体组成。横切面上细胞形状呈圆形或多边形，大小与管孔藻一样。与管孔藻不同的是，拟刺毛藻放射状排列的丝状体间有明显的规则排列的横隔壁（横向细胞壁），与丝状体共同构成格子状。单个细胞长度一般大于细胞直径，有些类型在垂直切面上显示出清楚的带状生长层。生殖器官没有保存。出现于奥陶纪至第三纪（图版Ⅲ-8）。

（3）管节藻（*Solenomeris*）：藻体呈结核状，有的呈薄包壳状，细胞组织具明显的不规则性。在横切面中细胞呈多边形，平均直径40—60μm；纵切面中，细胞横隔壁在位置上与邻近的丝状体交替生长形成“之”字形，因而显示单个细胞好象呈不规则形状。生殖器官可能是外生的或非钙化的。出现于新生代老第三纪。

四、裸松藻科（Gymnocodiaece）

1．外形和内部构造

藻体呈直立分枝、分节的串珠状、仙掌状，不分节者呈圆柱状、棒状或锥状，直径0.5—2mm，较少分叉。藻体节片横切面呈圆形或卵形，钙化作用多限于藻体外部，厚约100μm，内部钙化较弱，髓部呈空心状，也可有弱钙化丝体痕迹，髓部丝体纵向延伸，较为平直，不象松藻那样丝体相互交织。丝体向外变粗，倾斜度变大，钙化后常呈细孔或细管，孔径一般为10—20μm，与藻体表壁呈斜交。孢子囊生于节片顶端，呈卵圆形。

2．代表性化石

裸松藻科常见的化石有裸松藻，二叠钙藻。

（1）裸松藻（*Gymnocodium*）：藻体呈直立分枝状，节片呈圆柱形、椭圆形或圆锥

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

形，横切面圆形或椭圆形，很少分叉。藻体钙化微弱，且多限于外部，节片中空，或者显示髓部丝体钙化痕迹。丝体平直，末端倾斜，向外增宽，钙化后呈辐射状细孔贯穿节片皮层。出现于二叠纪(图版Ⅳ-4)。

(2) 二叠钙藻*Permocalculus*)：与裸松藻类似，但节片形态变化大，可呈球形、梨形、椭圆形、卵形、桶形、拉长形或不规则指状。皮层部份钙化明显，髓部钙化弱。内腔可见丝体痕迹，至皮层见细密丝体小孔与表壁正交，贯穿皮层。出现于二叠纪至老第三纪(图版Ⅳ-2)。

五、翁格达藻科(Ungdarellaceae)

翁格达藻科目前仍为分类位置未定的红藻，有人将它作为一个科，也有人将它归为属，甚至曾有人认为它是层孔虫。

翁格达藻科外形多呈树枝状、圆柱状，分枝不分节，亦见有包壳状者，长数毫米，宽1mm左右。叶状体分叉，但交角小，由细胞丝体组成。丝体与生长方向近于平行，向外逐渐倾斜、分叉，粗达10μm，极其发育，而横隔壁退化，仅在丝体两侧的壁上残留有对称的脊状或刺状突起。未见孢子囊和生殖窝。出现于石炭纪至二叠纪(图版Ⅳ-5)。

六、生活环境及地史分布

1．生活环境

现存红藻约500多个属近4000个种，其中仅12个属50个种生活于淡水，其余绝大多数种属生活于热带和温带盐度正常的海洋中，极少部份生活于极区海中。它们中的多数生长于低潮线附近或潮下带，水深一般不超过23m，营底栖固着生长，但在清澈海水中可生长在低潮线以下30—60m，甚至生长在水深250m的海底。除少数种类如紫菜以外，大多数不喜欢强光，故红藻为“阴性植物”。造岩红藻生长于清澈、坚硬底质的正常盐度的浅海中，它们不仅是造礁的组份，也是重要的胶结和包壳物质。一般在珊瑚礁向风的边缘或大陆棚向海的边缘形成藻脊或藻滩，枝状和有节钙质红藻抗浪性差，破碎堆积形成红藻滩。

珊瑚藻科全为海生，分布极为广泛，从热带到两极海域，从潮间带延伸至250m的水深。壳状珊瑚藻(如古石枝藻)多数为温水属，限于热带和亚热带海洋中；少数属如石枝藻，主要是冷水属。有节珊瑚藻类分布于热带到温带的海洋，在<10m的浅水处和潮间高能带大量出现，其中让氏藻生活在热带和亚热带海中，有几个种可接近于亚北极地区。珊瑚藻科的大多数出现于正常盐度的海洋，仅有几个壳状珊瑚藻的种栖息于半咸水环境。珊瑚藻科是新生代热带、亚热带海洋的主要造礁生物，它们作为造架生物和沉积物的制造者，其造礁过程中的作用是十分明显的，如夏威夷的一些岸礁中几乎40%覆盖有壳状珊瑚藻(Litter，1973)。

管孔藻科的生活环境类似于现代珊瑚藻，但这种灭绝的门类在生活的水深与温度变化方面不如珊瑚藻科那样具有世界性。沉积学的记录表明它出现于正常盐度的浅海环境，营底栖生活，温暖动荡的水中最为繁盛，在古生代陆棚碳酸盐岩(如生物层和生物礁)中产出，常与各种海相无脊椎动物如海绵、珊瑚、层孔虫、苔藓、腕足、软体类、有孔虫等共生。中生代的管孔藻不与六射珊瑚共生，而新生代则常共生在一起，表明新生代

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

的管孔藻适应环境的范围更为广泛。

裸松藻科化石常与松藻、粗枝藻科共生，可能出现在与它们相类似的正常盐度的温暖浅海陆棚环境，营底栖固着生活。翁格达藻科也常栖息于浅水陆棚环境，是碳酸盐滩或礁的骨骼颗粒的提供者。

2．地史分布

原始的无壳类红藻最早从十亿年前开始出现，但前寒武纪的红藻尚缺乏分泌钙壳的能力，一般多以生理作用和粘结作用方式沉淀碳酸盐物质，参与形成叠层石。震旦纪(7.5—9亿年)开始出现了最原始最古老的管孔藻，如辽宁金县发现的放射线藻、前管孔藻、多管孔藻等。

较高级的具细胞组织的红藻，如厚壳类管孔藻科，从寒武纪才开始出现。早古生代的管孔藻一般构造简单，不具有珊瑚藻类那样的孢子囊、生殖巢等生殖器官。晚古生代的管孔藻稍复杂一些，至二叠纪出现了一些分枝类型，作为造礁生物，它远不如珊瑚和层孔虫那样重要。中生代的管孔藻较为常见，出现了分枝类型，分布广泛。中生代末开始衰落，它们让位于构造复杂而高级的珊瑚藻科，至新生代的中新世晚期已经灭绝。

珊瑚藻科最早出现于侏罗纪，而在白垩纪时爆发式地繁盛起来，新生代到达全盛并一直延续到现代，成为现代海洋造礁、造岩的最重要的藻类。在珊瑚藻科中，壳状珊瑚藻最早出现于晚侏罗世，而有节珊瑚藻则从早白垩世才开始出现。

裸松藻科分布时代局限，而且不连续，它从二叠纪开始，断续地延续到早第三纪。其中裸松藻只分布在二叠纪，二叠钙藻从二叠纪出现，延续至第三纪古新世。翁格达藻科从石炭纪开始出现。延续至晚二叠世。各科的地质时代分布归纳于图2-24。

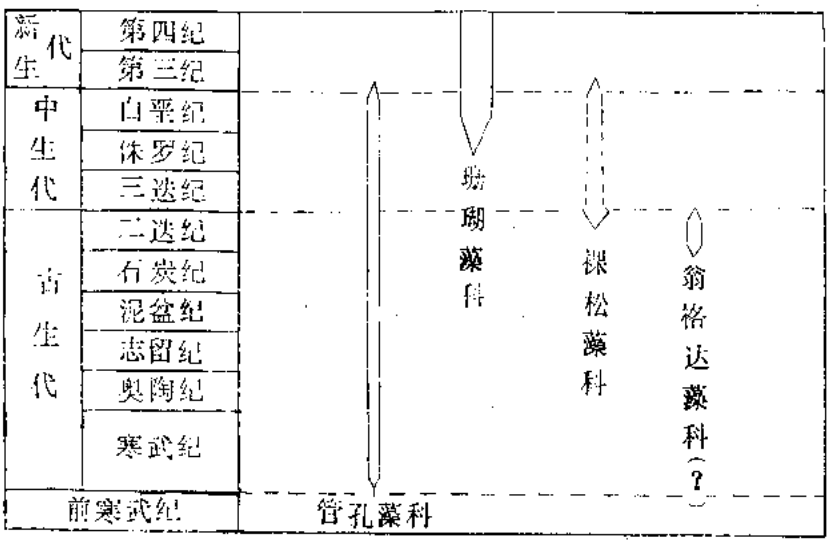


图2-21　各类红藻的地质时代分布

第五节　轮藻门 (Charophyta)

一、一般特征

轮藻是一种构造复杂、藻体高度分化的高等藻类，它所含的色素成分以叶绿素为

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

主，与绿藻门基本相同，故曾有人将它归为绿藻门。

1．外形特征

轮藻的外形很象被子植物金鱼藻(草)，有类似根、茎、叶的分化，但不具有根、茎、叶的功能。其根为假根，以它固着于水底的泥砂中，上有直立分枝的茎或主轴，直径一般为0.5—0.6mm，最大不超过4—5mm，高15—30cm，由节和节间两部份组成，节间由一个长圆筒形的大细胞组成，有的在其外还包裹一层由许多小细胞组成的皮层，节稍膨大。在茎的每个节上轮生着有限生长的分枝称为“叶”，叶腋中可以产生无限生长的分枝(图2-25，a)。

轮藻的显著特征是卵式生殖，生殖器官从节处发育，分别为雄性的藏精器(精子囊)和雌性的藏卵器，它们生长于节上(图2-25，b)。一般说来，藏卵器易钙化，而藏精器

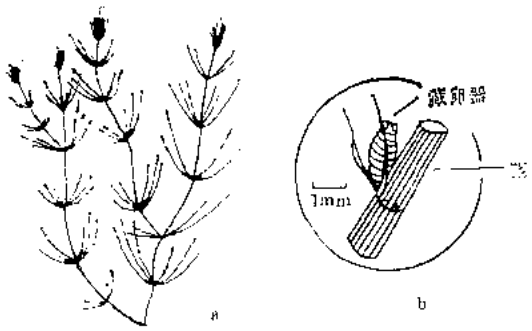


图2-25 轮藻外形及其生殖器官
a—轮藻外形；b—生殖器官的位置

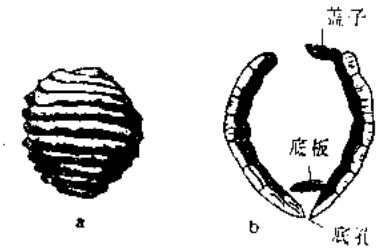


图2-26 轮藻藏卵器的外形及构造
a—藏卵器的外形；b—藏卵器的内部构造

不易钙化。因此轮藻所能保存化石者多为它的藏卵器，而其根、茎、叶及其藏精器一般很难保存为化石。

2．藏卵器的构造

轮藻藏卵器呈卵形、球形或椭圆形、柱形等，直径0.5—1mm，内部为一个卵，腐烂后形成中空的空腔，外壁由管状细胞组成，管内充填钙质。它们呈螺旋状包围着受精卵，故称之为“螺旋细胞”或“包围细胞”。它们的数目、螺旋的圈数及旋转方向是轮藻化石分类的重要依据。一般成熟的藏卵器钙化程度较好，螺旋细胞凸起，称为细胞脊；反之，钙化程度差，螺旋细胞下凹，形成细胞沟，两相邻螺旋细胞相接处称缝合线，钙化好时缝合线凹下，形成细胞间沟，钙化不好时缝合线凸起形成细胞间脊。螺旋细胞的外表常有瘤状突起。螺旋细胞在有些藏卵器顶部不聚合，形成花冠状，则留下顶孔，有些则聚合，不留顶孔，精子从冠细胞中间的孔进入使卵细胞受精，随后卵细胞外膜及螺旋细胞逐渐增厚并钙化，形成硬壁而保存为化石。藏卵器底孔和底板，是着生于枝上的小柄扦入之处(图2-26)。

3．矿物成分及结构

藏卵器钙化后的壁由低镁方解石组成，常具线纤和层纤结构。根据结构和形态可与绿藻相区别。

二、主要类型

轮藻化石根据藏卵器螺旋细胞旋转方向分为三个目，即：直立轮藻目(Sycidiales)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

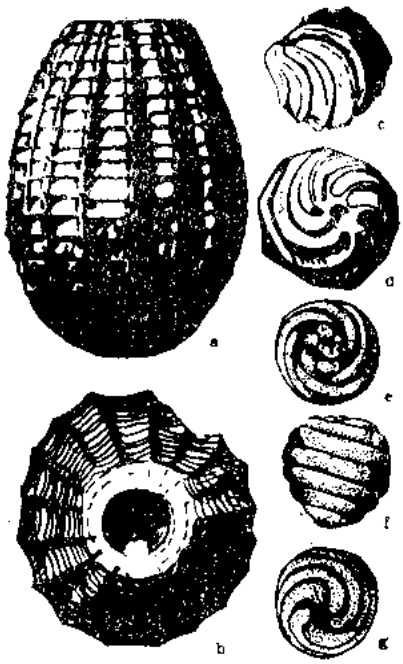


图2-27 常见的轮藻化石
e—g：左旋轮藻 a—b：直立轮藻；
c—d：右旋轮藻；

右旋轮藻目(Trochiliscales)、左旋轮藻目(Charales)。进一步再根据螺旋细胞的数目、有无顶孔等分科。现将其代表性化石介绍如下。

1．直立轮藻(*Sycidium*)

藏卵器为球形、椭球形、卵形或腰鼓状，有16—18条包围细胞列，细胞列直立而不旋转，每行细胞再横向分裂，形成网格状小坑或突起(图2-27，a，b)。出现于泥盆纪至石炭纪，一般可作为泥盆纪标准化石。

2．右旋轮藻(*Trochiliscus*)

藏卵器微小，球形或椭球形，有7—11个顺时针右旋的管状细胞组成(图2-27，c，d)。出现于志留纪至石炭纪。

3．左旋轮藻(*Characeae*)

藏卵器呈球形或椭球形，外部有5行反时针左旋的管状细胞(螺旋细胞)列组成，钙化较好(图2-27，e-g)。出现于侏罗纪至现代(图版Ⅳ-6，7)。

三、生活环境及地史分布

1．生活环境

与大多数钙质绿藻和红藻海生习性相反，大多数现生轮藻生活于淡水，在静水池塘、沟渠、湖泊及河流均可发现，只有少数几个种属生活于微咸水直到含盐度达18‰—26‰的水体中。化石轮藻可能生活于和现生轮藻类似的非海洋环境。轮藻的藏卵器乃是非海相环境的标志。大多数轮藻固着底栖于停滞、宁静、清澈、水浅的砂、泥底质上，浑浊、动荡或水位常有变化的水体则不适宜于它们的生长。水深＜10m有利于轮藻大量繁殖。轮藻生活的水温范围较宽，它既能在温泉中生长，又能生活于寒冷的冰水中。轮藻常喜欢生活于碱性水体，但对pH值从5到略高于9.6的水体均能适应。轮藻化石常保存于泥灰岩、钙质页岩和泥质粉砂岩中，往往和介形虫、瓣鳃类及腹足类等化石共生。

2．地史分布

轮藻化石最早出现于晚志留世，以后各地质时期均有出现，并一直延续至现代。其间经历了几个繁盛时期。中泥盆世是轮藻的第一个繁盛时期，为直立轮藻和右旋轮藻的顶盛时期，到早石炭世它们趋于灭绝。轮藻繁盛的第二、第三个时期分别为中晚三叠世、早白垩世至早第三纪，为左旋轮藻的繁盛时期，早第三纪左旋轮藻发展到顶峰，晚第三纪开始，轮藻门开始衰退，目前仅残存七个属。

第六节 金藻门(Chrysophyta)

金藻门所知化石不多。随着电子显微镜在超微化石鉴定中的应用，发现金藻门中能

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

分泌钙质而保存为化石的只有一个科，即钙板金藻科(Coccolithoraceae)，通常又称为颗石藻科或球石藻科。兹简要介绍之。

一、颗石藻的一般特征

1．形态及构造

颗石藻是呈黄绿色单细胞的浮游藻类。细胞呈球形到卵形，直径4—40μm。藻体具有鞭毛，细胞周围有细胞膜，其外为非矿物质鳞片，直径大致为0.25—0.75μm，紧贴鳞片之外的胶质层中或胶质层表面有钙质小盘(小板)，称为“颗石”(*Coccolith*)，直径1—20μm，常呈圆轮环状、筒状、酒杯状、漏斗状。在一个细胞上有很多颗石，它们构成近球形到卵形的颗石球(*Coccosphere*)，组成颗石藻的外骨骼(图2-28)。藻体死亡后，颗石球体解，形成许多单个的轮状颗石在地层中保存为化石。

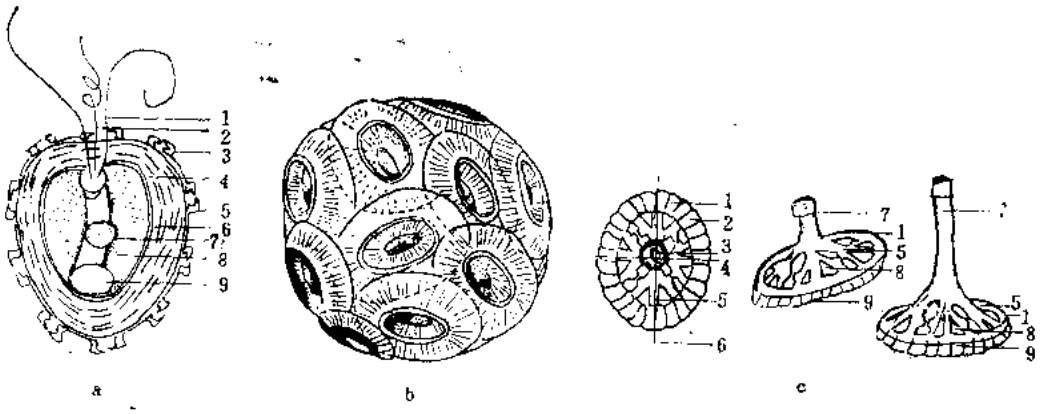


图2-28　颗石藻的形态及构造(据R.N.Pienaer，1969)

a—颗石藻构造模式：1，2—鞭毛；3—胶质层；4—非矿物质鳞片；5—颗石；6—细胞膜；7—细胞核；8—色素体；9—内部未成熟的颗石

b—颗石球，直径5—32μm；

c—颗石：1—顶值；2—值片；3—轴管；4—横轴；5—纵耙；6—纵轴；7—柄；8—中央区；9—底值

2．矿物成分及显微结构

颗石主要由0.25—1μm的低镁方解石组成，隐粒结构，少数颗石可具单晶结构。在非洲南部沉积地层中发现有文石质的颗石。

二、生活环境及地史分布

1．生活环境

颗石藻为一种超微远洋浮游生物，生活于远洋表层水体，死亡后体解为单个颗石，以超微化石的形式堆积于海底，在深海沉积物中含量极其丰富。在大洋底的钙质淤泥中1立方厘米可含有1万亿个个体。在大西洋，绝大部份深水细粒碳酸盐是由颗石碎屑组成，它约占沉积物总量的5—20%，有时可能更多。太平洋中的颗石含量较低，但在第三纪和第三纪前，由于当时海洋温度较暖，颗石更为重要。在某些现代封闭或半封闭的海盆，如黑海和地中海，颗石仍是占优势的碳酸盐组份。

2．地史分布

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

颗石藻出现于侏罗纪，繁盛于晚白垩世至第三纪，现代海洋中亦非常丰富。据统计，一升海水中可能有5万至50万个颗石藻细胞，挪威海峡每升海水中有1380万个，可见其数量之多。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第三章　原生动物门(Protozoa)

第一节　概　　述

一、一般特征

原生动物是动物界中最原始最低级的一个门类，其个体由单细胞构成，个体大小在250μm以下。单个细胞由细胞膜、细胞质和细胞核组成，它们构成了一个完整的有机整体，具有作为一个动物应有的主要生活机能，如新陈代谢、刺激反应、运动、繁殖等。为行使各种生活机能，单细胞各部份进行分化，形成了各司一定功能的“类器官”，如鞭毛、纤毛、伪足等就是原生动物司运动功能的类器官。

有些原生动物细胞质具有骨骼或形成坚硬的外壳，死亡后骨骼或外壳常保存为化石，成为地层划分和判断沉积环境的重要标志。

二、分类

根据运动器官的有无和类型，原生动物可划分为四个纲：鞭毛虫纲、纤毛虫纲、孢子虫纲和肉足虫纲。

孢子虫纲至今未发现化石，鞭毛虫纲亦无重要化石。纤毛虫纲中仅有丁丁虫(又称钟纤毛虫)类保存为化石，并具有时代及环境意义，其硬体部份为非钙质的胶质或假几丁质组成。

肉足虫纲中具有硬壳，在地层中保存有丰富的化石者有两个目，即放射虫目(Radiolaria)和有孔虫目(Foraminiferida)。放射虫目骨骼成分为硅质。这类化石将在第十二章中介绍。本章重点介绍具钙质骨骼的有孔虫目。

第二节　有 孔 虫 目

一、概述

有孔虫是一种具有伪足的单细胞动物。其躯体由一团细胞质组成，细胞质分化为两层。外层薄而透明，称为“外质”；内层颜色较深，称“内质”。外质伸出许多根状或丝状伪足，其主要功能是司运动、摄取食物、清除废物并分泌壳质，构成坚硬外壳，内质中具有一个或多个核，核随着个体生长而增大(图3-1)。

有孔虫通常有两种生殖方式，即有性生殖和无性生殖，在发育过程中这两种方式交替进行(世代交替)。以无性生殖产生的壳，其第一个房室较大，称显球型壳；以有性生殖产生的壳其初房小，称微球型壳。在同一个种中由于世代交替产生两种不同类型壳的现象，称为有孔虫壳的双型现象。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

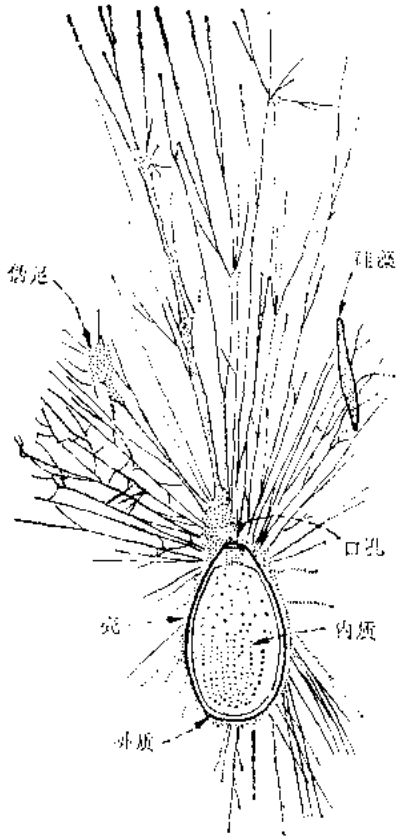


图3-1 现代有孔虫的生长形态
网足虫(*Allorgomia*)

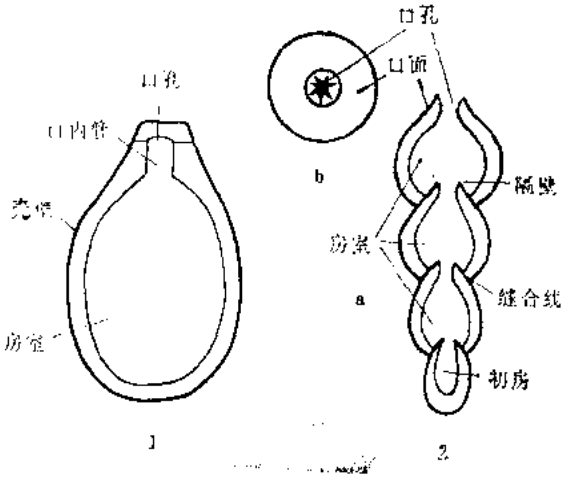


图3-2 有孔虫壳的一般特点
1—网足虫壳的纵切面；2—节房虫；
a—纵切面，b—顶视

二、有孔虫的壳体特征

1．壳体形态和基本构造

有孔虫壳体外形多样，可呈球状、椭球状、锥状、盘状、瓶状、管状、扇状、纺锤状等，大小一般在0.5—2mm之间，最大的货币虫壳体可达30mm。

少数有孔虫壳体构造比较简单，如网足虫(*Allogromia*)壳体仅为一椭球形或球形空腔，称为“房室”“或壳室”，顶端为圆形开口，称“口孔”（图3-2,1）。大多数有孔虫壳体结构较为复杂，如节房虫(*Nodosaria*)，壳体由沿一条直线排列的几个房室构成（图3-2,2），最早形成的最小房室叫“初房”，以后陆续生长一系列房室，最后一个房室叫“终室”。在壳内隔开相邻两房的壳壁称为“隔壁”，隔壁与壳壁的交线叫“缝合线”。终室顶端向外的开口称为口孔。有些有孔虫，如鲢亚目的不少种属，隔壁中央有一开口，从里向外构成一个通道，两侧因次生灰质堆积形成脊状突起，称为旋脊。

有孔虫的类型不同，其房室多少亦不相同，根据房室多少，可将有孔虫壳分为三类。

（1）单房室壳：有孔虫个体仅由一个房室构成，壳体常呈球形、瓶形，此外还有放射状和树枝状等(图3-3,1-5)。

（2）双房室壳：整个壳体仅由两个房室组成，常有一个球形初房和一个管状第二房

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

室。由于第二房室的位置和形状变化，可形成各种壳形，如圆管状、圆盘状、球形、之字形等(图3-3,6-10)。

(3) 多房室壳：壳体由两个以上的房室组成(图3-3,11-22)。按房室排列的形式不同，可分为四种类型：

① 单列式壳：房室基本上沿一条直线或弧线排列成单行。沿直线排列者称直线形单列壳(图3-2,2)；沿弧线排列者称弧形单列壳(图3-3,11)。

② 螺旋式壳：房室围绕通过初房的一个设想轴在若干彼此平行的平面上螺旋式排列，设想轴与这些平面垂直。当这些平面彼此距离较大时，形成高螺旋壳；房室排列成双行者，称双列式壳(图3-3,12)；排列成三行者称三列式壳(图3-3,13)；当平面距离很近时，形成低螺旋壳(图3-3,16-17)。

③ 平旋式壳：房室围绕通过初房的一个设想轴，在一个平面上盘旋排列，设想轴和旋卷平面相互垂直(图3-3,14,15)。

④ 绕旋式壳：房室沿一个设想轴绕旋排列(图3-3,18)。

其他尚有半环式、扇形、混合型壳等(图3-3,19-22)。

2．壳体的矿物成分

有孔虫壳体的矿物成分主要为低镁方解石，部份为高镁方解石和假几丁质，偶尔为文石。假几丁质不易保存为化石。极少见硅质壳，若为硅质有可能是交代成因。

3．壳体显微结构及壳层

有孔虫的壳体以微粒、隐粒和玻纤结构为主，次为瓷质*、层纤、胶粒结构，偶见单晶结构。

壳层结构一般为单层壳，也可见有同类双层壳或异类双层壳。

三、有孔虫的分类及主要类型

目前已发现的有孔虫近3 000个属，30 000多个种。对其分类，各家尚有分歧。通常根据有孔虫壳壁成分、微细构造、壳层等特征分为六个亚目。各亚目的鉴定特征归纳于表3-1。

在表3-1的六个亚目中，网足虫亚目壳易碎，故不易保存为化石。现将其余五个目简述如下。

1．串珠虫亚目(Textulariina)

壳壁具胶粒结构，由假几丁质、低镁方解石或钙、铁、硅的氢氧化物粘结外来碎屑颗粒组成，常见的碎屑物质为石英、粘土、碳酸盐及有孔虫、海绵骨针、放射虫、颗石等颗粒。一般常具有假几丁质内层。出现于寒武纪至现代。

串珠虫亚目可根据房室的数目分为砂盘虫和曲房虫两个超科。砂盘虫超科(Ammodiscacea)为单房室或双房室，壳呈球形、管状或旋卷状(图3-4,1-2)。曲房虫超科(Lituolacea)为多房室壳，除串珠虫(*Textularia*)为双列式长楔状壳外，多呈单旋、绕旋或螺旋壳(图3-4，3-5)。

2．内卷虫亚目(Endothyriina)

* 瓷质结构：比微粒细，但不是隐粒，有机质少，透射光下呈褐色，电镜观察为长1—2μm、宽0.15—0.3μm的针状方解石两向或三向杂乱排列而成。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

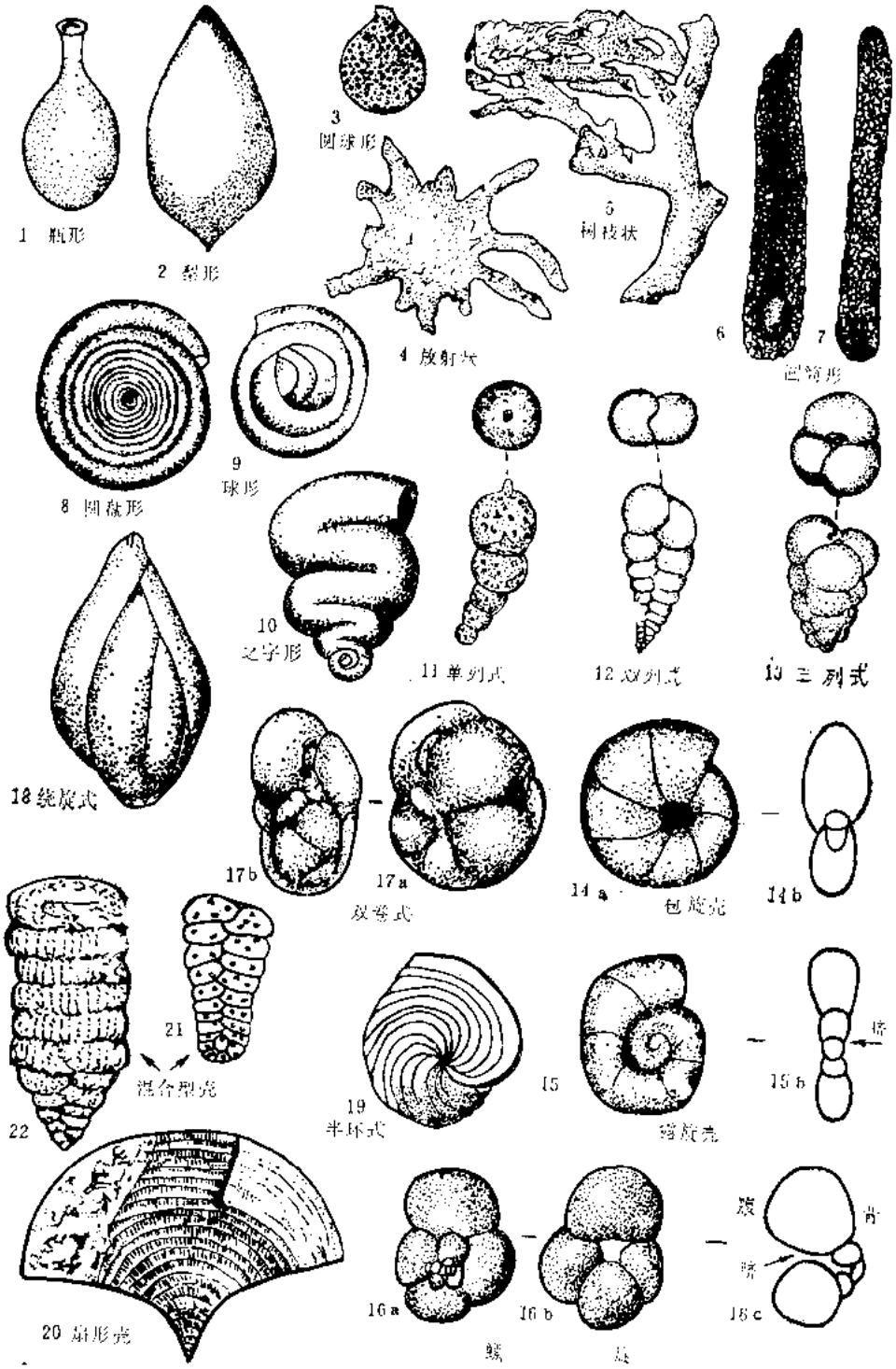


图3-3 有孔虫类的壳体形状及房室排列

1—5：单房室壳，6—10：双房室壳；11—22：多房室壳

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

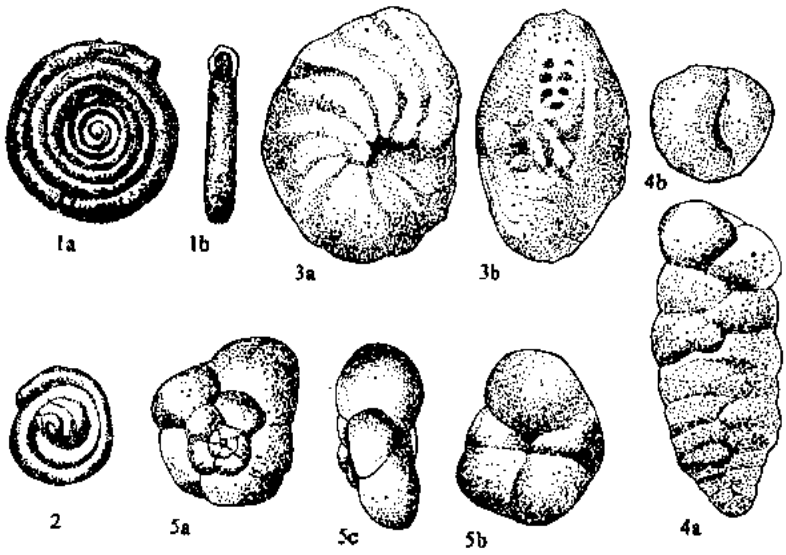


图3-4 串珠虫亚目

砂盘虫超科：1—砂盘虫(*Ammodiscus*)放大；2—球旋虫(*Glomospira*)放大；
曲房虫超科：3—曲房虫(*Lituola*)×16；4—串珠虫(*Textularia*)×26；
5—砂轮虫(*Trochammina*)×35

表3-1 有孔虫各亚目鉴定特征简表

亚目	壳体成分	壳壁分层性、隔壁褶皱、旋脊	壳体结构	房室类型及排列	科或超科	时代
网足虫亚目	假几丁质	壳壁不分层	胶粒结构	单房室(球形、直管)	瓶形虫超科	ϵ—Rēc
串珠虫亚目	胶结壳(假几丁质或低镁方解石粘结外来颗粒)	壳壁不分层	胶粒结构	单、双房室、平旋多房室、双列、平旋、螺旋、绕旋	砂盘虫超科 曲房虫超科	ϵ—Rēc
内卷虫亚目	低镁方解石	壳壁不分层或分层	隐粒、微粒，微粒-纤状	单、双房室，多房室	砂户虫超科 内卷虫超科	O—T
簇亚目	低镁方解石	壳壁一般分层，隔壁常褶皱 具旋脊 拟旋脊	隐粒 隐-微粒 隐粒-层纤	多房室	纺锤簇超科 费伯克簇超科	C—P
小粟虫亚目	低镁方解石（现代种属具高镁方解石）	壳壁不分层	微粒 无孔似瓷质	多房室(个别属单房室)	小粟虫超科	C—Rēc
轮虫亚目	低镁或高镁方解石（个别超科为文石）	一般分层	玻纤 个别为晶粒或微粒	多房室	共12个超科	C_2—Rēc

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

壳体成分为低镁方解石，具微粒或隐粒结构的单层壳或隐粒—微粒结构双层壳、微粒(隐粒)—层纤(玻纤)结构的异类双层壳，原始类型中也有胶粒壳。多房室，外形管状、球状、透镜状、直壳和旋壳都有。出现于奥陶纪至现代。

根据壳壁是否分层、隔壁发育程度分为似砂户虫超科和内卷虫超科。前者由1—2个房室构成，隔壁不发育，壳壁不分层；后者多房室，隔壁发育完全，壳壁分层，化石繁多。常见的化石有：

(1) 内卷虫(*Endothyra*)，具包旋壳，壳壁双层，外层为隐粒，薄而黑，内层为微粒，厚而色暗(图3-5,1)。出现于石炭纪至二叠纪(图版Ⅴ-1)。

(2) 古串珠虫(*Palaeotextularia*)，形状与串珠虫类似，呈长楔状，双列式，异类双层壳，为暗色微粒外层、纤状内层、内缘口孔呈弧形(图3-5,2)，石炭纪至二叠纪(图版Ⅴ-3)。若壳的成年期变为单列和筛状口孔，即为梯状虫(*Climacammina*)(图3-5,3)；若每个房室的口孔都为筛状，即为筛串虫(*Cribrogeneria*)(图3-5,4)(图版Ⅴ-4)。由古串珠虫至筛串虫，房室由双列变为单列，口孔由裂隙状变为筛状。

(3) 四房虫(*Tetrataxis*)，螺旋式壳，房室低而宽，外形为金字塔状，异类双层壳，为微粒状外层和纤状内层，口孔窄长(图3-5,5)。石炭纪至三叠纪。

3. 蜓亚目(Fusulinina)

蜓又名纺锤虫，具多房室包旋壳。多数壳长(平行轴向)大于壳宽(垂直于轴向)，故多呈纺锤形或椭圆形，有时呈圆柱形；少数壳长等于或小于壳宽，呈球形或透镜状。最小者<1mm，一般为1—5mm，大如麦粒，个别大者可达30mm。

壳的初房位于壳体中央，呈圆形、椭圆形或不规则形，细胞质沿初房圆形开口溢出房外分泌壳质形成的壳壁称为旋壁。旋壁围绕一个假想的旋轴增长，同时向旋轴两端伸展，包裹初房。旋壁前端向外弯曲形成隔壁。隔壁通常较平直，较高级的蜓类隔壁两端褶皱或仅下部褶皱，进而形成全面褶皱。两隔壁间即为一个窄长的房室，每绕轴一圈即构成一个壳圈，壳圈从内到外层层包裹，在隔壁基部中央形成开口，相邻两隔壁间的开口位置相对，彼此贯通形成通道。通道两侧形成次生钙质脊状堆积物称为旋脊(图3-6)。在某些较高级的蜓的隔壁底部复孔两侧，形成相当于旋脊的堆积物称拟旋脊。部份旋脊不发育的蜓，其轴部被钙质充填称为轴积。

蜓的壳壁(旋壁)构造较为复杂多样。常见的组合形式有：(1) 微粒单层壳或隐粒—微粒双层壳，隐粒层即致密层，为富有机质的暗色薄层，薄片中呈一条黑线，所有的蜓都具有此层；(2) 隐粒层和蜂巢状微粒层(粗蜂巢层)组成的双层壳；(3) 隐粒层和微粒纤状层(形态为微粒、光性为纤状)或正纤层(后二者称细蜂巢层)组成的双层壳，为较高级蜓的特征；(4) 晶粒结构的单层壳，常由原始文石转变为低镁方解石而成，往往与充填房室的亮晶方解石结合在一起，有时还保留旋壁界线和原始显粒结构。

蜓的进一步分类主要根据蜓的外形、旋壁构造、隔壁性质及各种次生堆积发育状况。根据这些特征可将蜓分为两个超科共六个科。现将它们的代表性化石择其主要者介绍如下。

(1) 古纺锤蜓(*Palaeofusulina*)：属于苏伯特蜓科。壳小、粗纺锤形，中部膨大，两端钝圆，4—5个壳圈，包旋较松。旋壁薄，由隐粒外层和微粒内层组成。隔壁薄，全面而强烈褶皱(图3-7,1)。晚二叠世(图版Ⅵ-2)。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

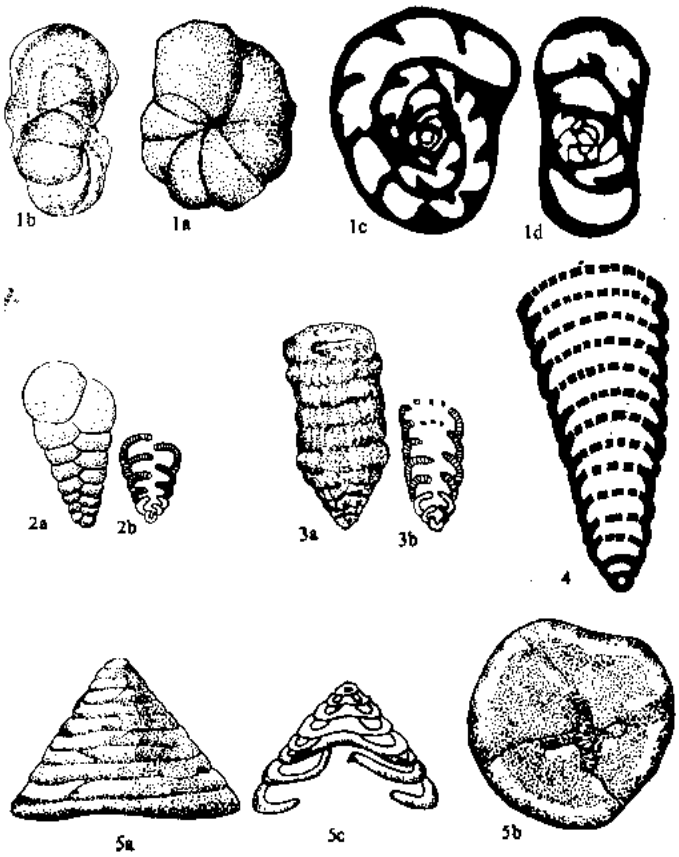


图3-5 内卷虫亚目

1—内卷虫(*Endothyra*)；2—古串珠虫(*Palaeotextularia*)；3—梯状虫(*Climacammina*)；4—筛串虫(*Cribrogeneria*)； 5—四房虫(*Tetrataxis*)

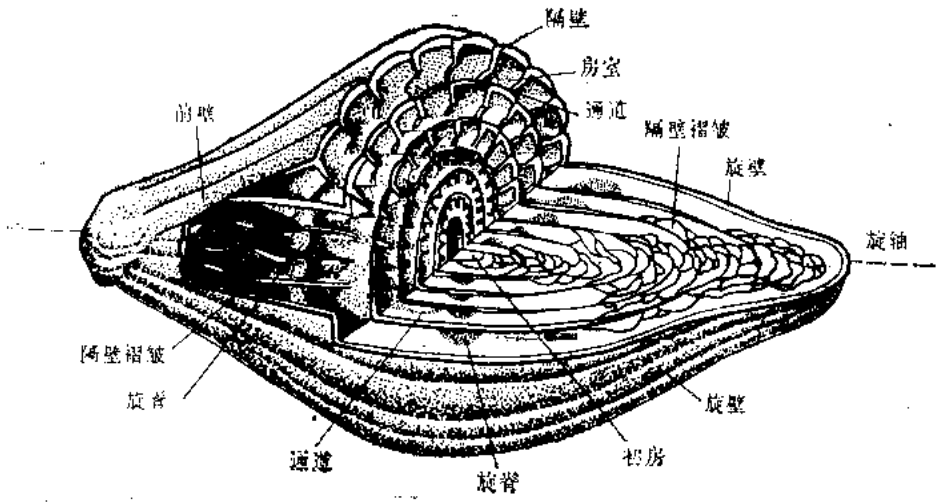


图3-6 鏟壳的构造

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

（2）小纺锤䗴(*Fusulinella*)：壳小到中等，粗纺锤到长纺锤形，6—9个壳圈，旋壁由隐粒外层和正纤内层组成。隔壁中部平直，两端褶皱，旋脊发育(图3-7，2)。中石炭世。

（3）麦䗴(*Triticites*)：壳小到大，粗纺锤到纺锤形，壳圈多达10个，旋壁由隐粒外层和蜂巢微粒内层组成，隔壁中部平直，两侧褶皱，旋脊发育(图3-7，3)。晚石炭世至二叠纪。

（4）希瓦格䗴(*Schwagerina*)：壳小到巨大，纺锤形、长纺锤形到圆柱形，6—10个壳圈，旋壁由隐粒外层和蜂巢微粒内层组成，蜂巢层粗。隔壁全面褶皱，强烈而不规则。旋脊无或仅见于幼壳(图3-7，4)。晚石炭世至二叠纪(图版Ⅵ-3)。

（5）拟纺锤䗴(*Parafusulina*)：壳大、长纺锤形至圆柱形，旋壁由隐粒外层和粗蜂巢微粒内层组成，隔壁褶皱强烈而不规则，一般无旋脊(图3-7，5)。早二叠世。

（6）费伯克䗴(*Verbeekina*)：壳中等到巨大，球形或近球形，壳圈密达12—21个，房室多，旋壁薄，由隐粒外层(致密层)和正纤内层(细蜂巢层)组成，隔壁平，拟旋脊见于内部数圈和外部数圈，不连续，中部圈上拟旋脊不发育(图3-7，6)。早二叠世。

（7）新希瓦格䗴(*Neoschwagerina*)：壳中等到大，粗纺锤形，壳圈11—20个，旋壁由隐粒外层和正纤或微粒纤状内层(细蜂巢层)组成，拟旋脊低而宽(图3-7，7)。早二叠世晚期(图版Ⅵ-4)。

䗴类自早石炭世后期出现至二叠纪后期灭绝，演化和消亡极为迅速，䗴壳也随着䗴由低级到高级发展，表现出明显的演化趋向。具体表现在：(1) 壳体变化大，低级的䗴最大壳径<1mm，高级的䗴比低级者体积大几十倍；(2) 壳体外形从低级䗴的短轴型变为高级䗴的长轴型，即由圆盘型变为球形、长纺锤形、圆柱形；(3) 旋壁构造由简单到复杂，由隐粒单层壳变为隐粒—微粒同类双层壳，隐粒—纤状异类双层壳；(4) 隔壁褶

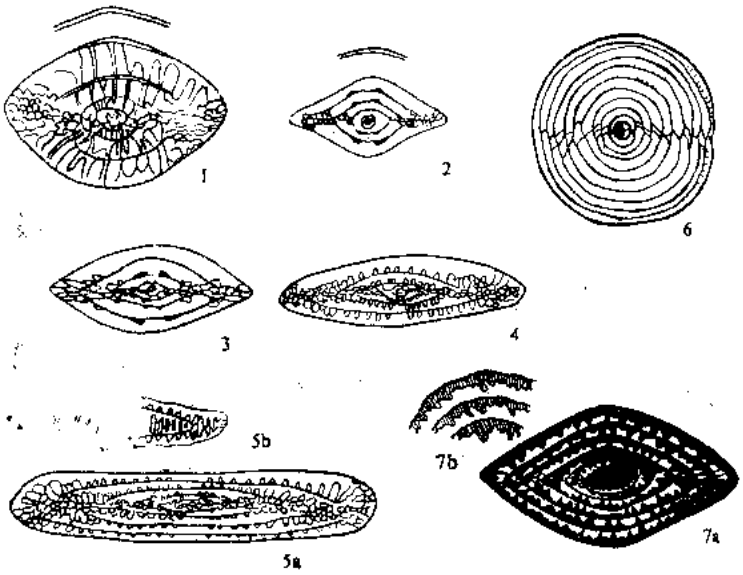


图3-7 䗴亚目

1—古纺锤䗴(*Palaeofusulina*)×20；2—小纺锤䗴(*Fusulinella*)×10；3—麦䗴(*Triticites*)×6；4—希瓦格䗴(*Schwagerina*)×5；5—拟纺锤䗴(*Parafusulina*)×5；6—费伯克䗴(*Verbekina*)×5；7—新希瓦格䗴(*Neoschwagerina*)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

皱增强，原始链类隔壁平直，进而两端褶皱，高级的链类隔壁全面而强烈褶皱；（5）旋脊变化在部份链中由粗大变细小以至消失，另一部份链的旋脊演化为拟旋脊。

4．小粟虫亚目(Miliolina)

为瓷质无孔钙壳。现代种属多为纤状高镁方解石晶体组成，通常见有假几丁质内层，外表有时含有外来物质。壳体呈圆盘状、纺锤状和椭球状，除个别属为单房室外均为多房室，旋卷或平旋，有的不规则，有的为块式旋卷，即房室按一定角度相交呈平面绕旋。口孔简单或呈筛状。根据外面壳圈的块式分别组成五块虫(*Quinqueloculina*)、三块虫(*Triloculina*)和双块虫(*Pyrgo*)(图3-8,a)。小粟米虫(*Miliola*)亦为五块虫式壳(图3-8,b)。石炭纪至现代。

5．轮虫亚目(Rotaliina)

壳体为多房室，房室排列以平旋、螺旋、单列、双列为主，次为三列、绕旋式。成分为低镁方解石或高镁方解石，也有二者混合的，仅有罗伯特虫超科为文石壳。壳体显微结构以玻纤为主，少数为微粒、单晶或次生晶粒结构。壳体隔壁常具有三种形式：（1）单层式隔壁，每生长一个新房室的同时，在壳壁表面增加一个壳层，形成单层隔壁多层壳壁，如节房虫、小泡虫、圆盘虫等超科；（2）轮虫式壳壁，每生长一个新房室的同时，除壳壁又增加一层外，还在前一个隔壁的前方覆盖

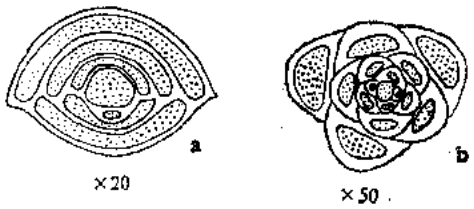


图3-8　小粟虫亚目

a—双块虫×20；b—小粟米虫×50

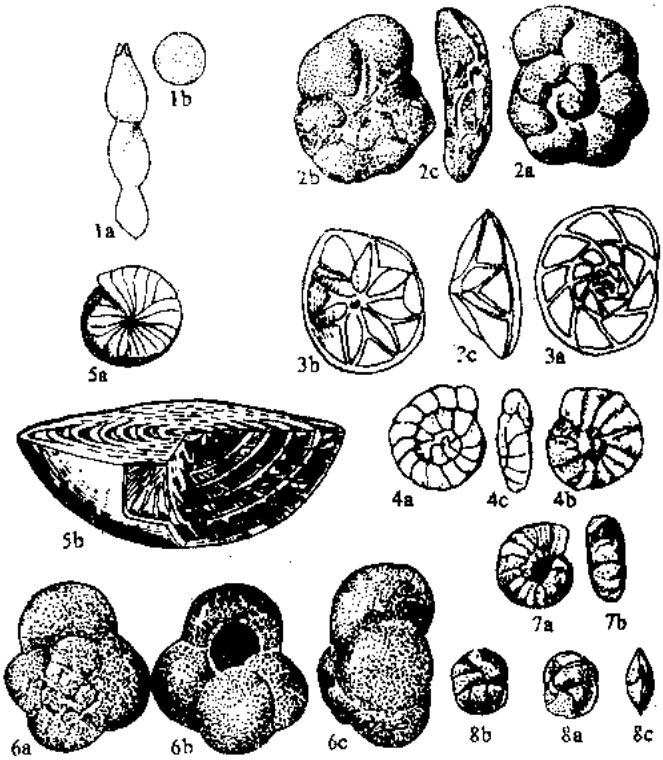


图3-9　轮虫亚目

1—节房虫(*Nodosaria*)，×31；2—圆盘虫(*Dsicorbis*)，×17；3—星盘虫(*Asterigerina*)×45；4—卷转虫(*Ammonia*)，×15；5—货币虫(*Nummulites*)，放大；6—抱球虫(*Globigerina*)，×87；7—诺宁虫(*Nonion*)，×42；8—盔形虫(*Cassidulina*)，放大

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

一层壳质，形成双层隔壁多层壳，如轮虫超科；（3）双层式隔壁，在新形成的隔壁和壳壁里面又贴复一层壳质而构成双层隔壁，如浮游有孔虫的抱球虫超科。

轮虫亚目从中石炭世开始出现一直延续至今。共分为12个超科，每个超科壳的特征及时代分布见表3-2，常见代表性化石见图3-9及图版Ⅴ-2,5-8,Ⅵ-1。

四、生活环境和地史分布

1．生活环境

现代绝大多数有孔虫生活于海洋环境，少数生活于半咸水环境，极少数类型如假几丁质壳的网足虫科的代表生活于淡水中。因此，大部份有孔虫属于狭盐性生物，只能适应正常盐度的海水，通常可达数十种乃至百余种。部份有孔虫属广盐性生物，生活在泻湖、河口、海湾等滨海边缘环境，种属单调，仅几种乃至数十种，并受水域盐度及其变化的影响，随着远离正常含盐度，不仅种属、数量变少，而且变得体小壳薄、壳饰特殊、变异个体多，并与广盐性半咸水介形虫、软体类、有壳变形虫、轮藻等共生。

有孔虫按生活方式分为底栖和浮游两种类型，但以底栖为主，或在海底和海藻上缓慢爬行，或固着于海底及其他物体上，喜在灰质淤泥的底质上生活。现代有孔虫仅抱球虫超科营远洋漂浮生活。

底栖有孔虫生活于低潮线以下水深10m左右的滨浅海区至7000m左右的深海。但以临近河口的近岸区或水深50—90m的陆棚浅海最为发育。大型有孔虫如现代货币虫主要分布在水深60m的热带浅海。水深在2000m以下，底栖有孔虫就极为稀少了。浮游有孔虫一般分布于水深100m之内的海洋表层水体，在水深1000—2000m的海洋水域表层亦有分布。在现代大陆棚边缘，浅水和深水底栖类型与浮游类型混合堆积在一起，在外陆棚和大陆斜坡沉积中，底栖类型的有孔虫减少、浮游者占统治地位。现代深海和大洋底部分布广泛的钙质淤泥，主要由浮游有孔虫类的抱球虫壳体堆积而成。

有孔虫的空间分布还受水温的控制，而水温又受纬度、水深、日照（表层水）等因素的影响。大部分有孔虫为喜暖的窄温性生物，因此在热带和亚热带浅海有孔虫最丰富。底栖有孔虫中星轮虫（*Asterrotalia*）、假轮虫（*Pseudorotalia*）、货币虫（*Nummulites*）、双盖虫（*Amphistegina*）等为暖水型；冰水面颊虫（*Buccellafrigida*）为冷水型。在热带、亚热带和温带海域，随着海水深度的变化，底栖有孔虫表现出明显的分带性（表3-3），而在寒带海域，垂直分带性不明显。浮游有孔虫的分布受纬度及表层水体的温度控制，因而有不同组合。冷水型的种属单调，以抱球虫（*Globigerina*）的一些种为主；温水型的种属数量中等，以抱球虫（*Globigerina*）、圆片虫（*Orbitoides*）、圆幅虫（*Globorotalia*）等属的一些种为主；暖水型的种属较复杂，以圆幅虫（*Globorotalia*）、小抱球虫（*Globigerinella*）、白闪虫（*Candeina*）、拟抱球虫（*Globigerinoides*）、小球形虫（*Sphaeroidinella*）等属的一些种为主。除此以外，浮游有孔虫出现的种类和频率也与温度密切相关。我国黄海、东海浮游有孔虫以水温16—30℃时出现的种数最多，频率也最高；水温低于15℃出现种数大量减少，除少数耐冷性较强的种类外，出现的频率也显著降低（郑执中、郑守仪，1962）。

沉积底质的性质对有孔虫的分布亦有影响，钙质淤泥、细砂或钙质砂的海底，底栖有孔虫丰富；粗碎屑沉积物的底质不利于底栖有孔虫的生存。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

表3-2 轮虫亚目各超科壳体特征及时代

超科名称	壳体成分	壳体显微结构	壳壁分层性	房室排列	地质时代	代表性化石
节房虫超科 (Nodasaricea)	低镁方解石	玻纤	单层	单列，平旋，绕旋	C_2—R_{ec}	节房虫 卵形虫
盘旋虫超科 (Spirillinacea)	高镁方解石	玻纤 单晶	单层	双房室及多房室，平旋、螺旋、双列	T—R_{ec}	
双口虫超科 (Duostomininacea)	低镁方解石(个别为文石)	微粒	不分层或分层	平旋、低螺旋为主或高旋	T—J_1	
罗伯特虫超科 (Robertinacea)	文石	玻纤 晶粒		螺旋式为主，具横向小隔壁	T(？) J—R_{ec}	
小泡球虫超科 (Buliminacea)	低镁方解石或高镁方解石	玻纤	单层	高螺旋式，三列，双列、单列	T_2—R_{ec}	小泡虫 箭头虫
圆盘虫超科 (Discorbacea)	高镁方解石	玻纤	单层或双层	低螺旋为主	T_2—R_{ec}	圆盘虫 星盘虫
轮虫超科 (Rotaliacea)	低镁或高镁方解石	玻纤	轮虫式	平旋、螺旋、双列	K—R_{ec}	轮虫
抱球虫超科 (Globigerinacea)	低镁或高镁方解石	玻纤	双层	平旋、螺旋、双列	J_2—R_{ec}	抱球虫 网孔虫 轮孔虫
圆片虫超科 (Orbitoilinacea)	低镁或高镁方解石	玻纤	双层	以低螺旋式为主	K—R_{ec}	圆片虫 盘环虫
盔形虫超科 (Cassidulinacea)	低镁或高镁方解石	晶粒(？)	单层或双层	双卷式、平旋式螺旋式 单列式	T_3—R_{ec}	盔形虫
诺宁虫超科 (Nontonacea)	低镁方解石	微粒	单层或双层	平旋式，低螺旋式	T_3—R_{ec}	诺宁虫
伞形虫超科 (Carlerinacea)	低镁方解石	骨针连接		螺旋式，后期房室有次级隔壁	R_{ec}	

鲢类为浅海底栖生物，生活于水深20—100m的热带和亚热带浅海，其水平分带和垂直分带都与沉积环境有密切关系，通常海水清澈、透光性强、海底处于氧化环境的较开阔浅海内缘有利于鲢的生存和繁衍，而浊度高、透光弱、海底处于还原环境的半封闭浅海，不利于鲢类的生存和发育。

2．地史分布

有孔虫最早从寒武纪开始出现，一直延续至今，总的趋势是日益繁盛。

寒武纪出现的有孔虫为网足虫、串珠虫等亚目一些原始的低级类型，化石保存极少，地层和环境意义不大。奥陶纪开始出现具钙质硬壳的有孔虫最可靠的代表，主要为内卷虫亚目。志留纪、泥盆纪仍以胶粒和粒状壳的内卷虫亚目为主。石炭—二叠纪为有

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

表3-3 墨西哥湾各种深度有孔虫组合带、有孔虫种类及优势度(据Walton, 1964)

深　度	有孔虫组合/带	有孔虫种数	优势度*
潮间带	斜粟虫(*Miliammina*)组合	7	59%
<3.6m	砂杆虫(*Ammobaculites*)组合	13	54%
	希望虫(*Elphidium*)组合	14	
3.6—18.3m	卷转虫(*Ammonia*)带	35	38%
	微泡虫(*Buliminella*)带	37	
18.3—55m	小诺宁虫(*Nonionella*)带	49	28%
	玫瑰虫-半泽虫(*Bosalina-Hanzawia*)带	53	23%
55—183m	盔形虫(*Cassidulina*)带	69	17%
183—549m	箭头虫(*Bolivina*)带	63	18%
>549m	小泡虫(*Bulimina*)带	50	14%

* 优势度是指样品中个体数最多的种在整个组合中所占的百分比。

孔虫在地史上第一个繁盛时期，其主要特点是筳类得以迅速发展，早二叠世到达顶峰，二叠纪末全部灭绝，内卷虫亚目除个别科的代表延续至三叠纪外，其余全部在二叠纪末灭绝。在中生代占绝对优势的轮虫亚目的先躯如节房虫等，于二叠纪早期开始出现。

中生代开始轮虫亚目大量发展，三叠纪时玻纤结构硬壳的有孔虫占重要地位，侏罗纪开始出现了浮游有孔虫。白垩纪是有孔虫在地史上第二个繁盛时期，数量十分丰富，成为重要的造岩生物。浮游有孔虫成为划分对比白垩纪海相地层的重要依据。

新生代的有孔虫又有了进一步发展，第三纪成为有孔虫发展史上的全盛时期，以轮虫类占绝对优势。浮游有孔虫演化迅速，许多老的科属灭绝，新的类型兴起，成为划分晚白垩世及第三纪海相地层的重要依据。始新世是第三纪有孔虫的极盛时期，底栖大有孔虫成为许多地区的造岩生物，如货币虫灰岩、蜂巢虫灰岩等。渐新世的有孔虫比始新世稍有逊色，原有许多重要的浮游类型开始灭绝。晚第三纪的有孔虫基本上具备了现代有孔虫动物群的面貌。中新世为第三纪有孔虫的又一个繁盛时期，其中很多种属一直延续到现在。

有孔虫形体小、数量多，其中有些种属分布时代短暂、演化迅速，它们不仅可成为某些地质时代的标准化石，而且对含油区井下海相地层划分对比起着重要作用。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第四章　海绵动物门及古杯动物门

海绵动物是最原始最简单的多细胞动物。古杯类亦是多细胞动物，与海绵动物在演化谱系上比较接近，同时考虑到该门类内容不多，故与海绵动物合并为一章介绍。

第一节　海绵动物门（Porifera）

一、概述

海绵动物虽是多细胞动物，但极其原始和简单，具体表现为细胞分化程度不大、无组织和器官。它可能是寒武纪以前由原生动物中的鞭毛虫类发展而来。就目前所知，它并未演化为其他动物，而仅是多细胞动物演化过程中的一个孤立的侧支，故又称它为侧生动物(Porazoa)。

海绵动物有单体和群体之分，其外形变化大，一般呈高脚杯形、瓶形、球形或圆柱形等，个体从1mm至2m以上。

海绵体有一个中空的椭球形空腔，称中央腔或腹腔，其外为体壁，并为水道贯穿，为进水孔，上端开口，为出水口。体壁由外胚层、内胚层、中胶层组成。外胚层为植物性细胞，组成皮层，起保护作用；内胚层由具鞭毛状的襟细胞(动物性细胞)组成，司摄食、消化和激动水流的功能；中胶层为胶状物质组成，其中有变形细胞，司分泌骨骼和生殖作用(图4-1)。

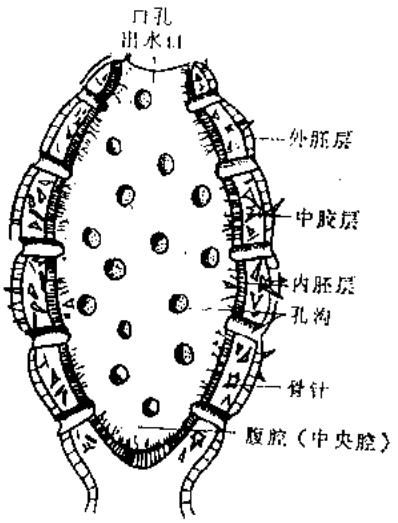


图4-1　海绵动物形态及构造

二、骨骼特征

大多数海绵动物具有骨骼，并能形成化石。其骨骼由体壁的中胶层造骨细胞分泌而成，并可分为骨针和骨丝两种类型。前者常由钙质或硅质组成，易保存为化石；后者为有机质组成，不易保存为化石。

骨针通常位于海绵体内，用以支撑身体，少数也有突出体外者。骨针或分散或连接，或相互穿扦成骨架。成骨架者保存化石后可以保持海绵体原有的外形。

1．骨针的形态

骨针按大小可分为大骨针和小骨针两类。前者其长度＞100μm，通常为100—500μm，直径为3—30μm，可孤立存在或形成不同网格，常能保存为完整化石；后者长度约在10—100μm之间，直径＜1μm，多分散在中胶层中，不易保存为完整化石。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

大骨针常用“轴”和“射”来描述，“轴”指骨针数，“射”指自中心向外放射的方向。按轴的多少可分为单轴型、三轴型、四轴型(图4-2)。此外尚有不规则状者，多为小骨针。单轴型可分为单射和双射；三轴骨针为三射、四射、五射和六射；四轴骨针一般为四射和八射。钙质海绵以三轴四射为最普遍。一轴型骨针可伸出体外司防护作用，三轴和四轴骨针可构成海绵的构造格架。有的钙质海绵体壁被简单或复杂的水管系统穿扦，组成不规则的网孔构造。

2．骨针的成分及结构

骨针的成分常为钙质和硅质。除少数外，一般一种海绵体不能同时分泌两种成分的骨针。古代钙质骨针多由微粒结构和晶粒结构组成。推测前者的原始成分为低镁方解石

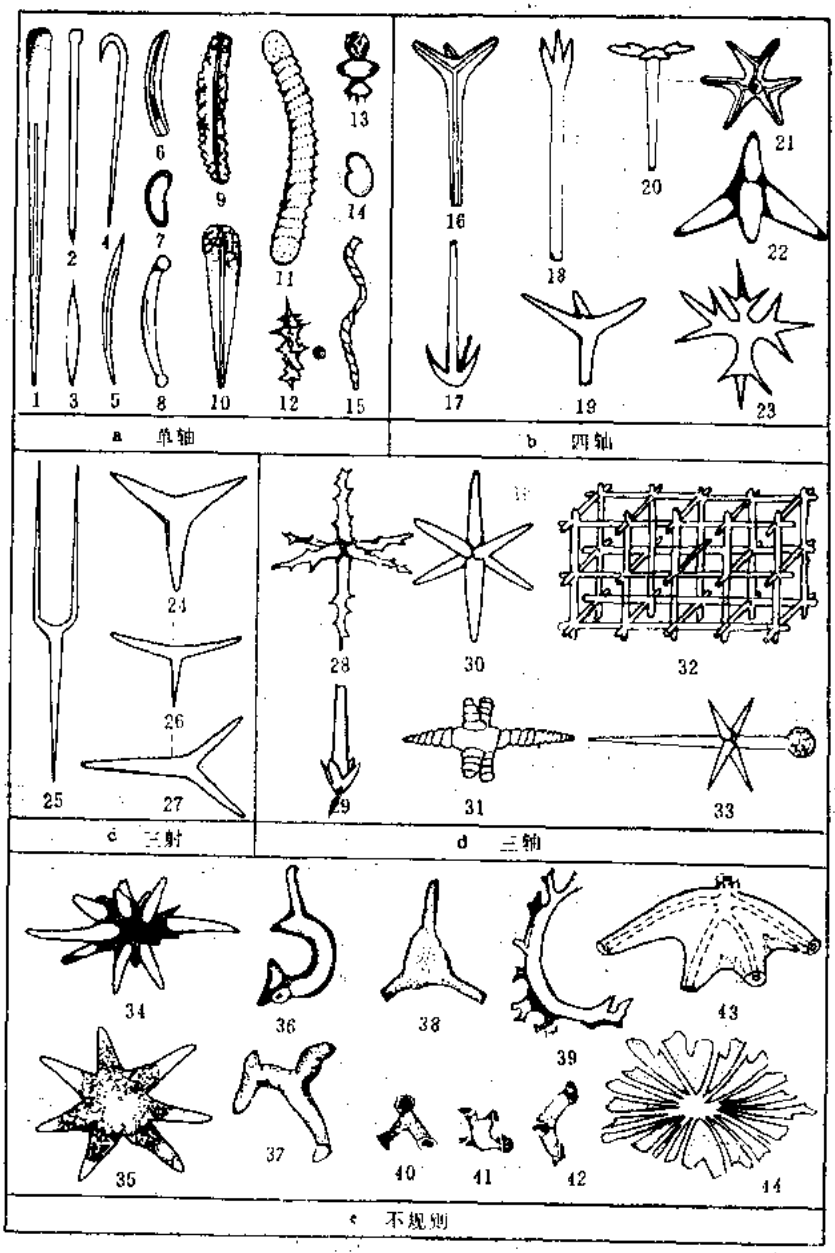


图4-2 海绵骨针的各种形态

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

或高镁方解石；后者的原始成分可能为文石。现代钙质海绵骨针由高镁方解石组成，具单晶结构。

少数海绵体能吸取水底砂粒、贝壳碎片、甚至其他海绵骨针来建造自己的骨骼，加之沉积期后硅质与钙质的相互交代作用，常使骨骼的原始成分变得难于鉴别。

钙质海绵骨针以其简单的外形与海参骨针、八射珊瑚骨针相区别；以体壁具晶粒结构及不规则网格和穿孔区别于水螅、六射珊瑚和苔藓动物。

三、主要类型

海绵动物门只有一个海绵动物纲，它常以骨骼的性质和成分被分为六个目，即：钙质海绵目、三轴海绵目、异射海绵目、四射海绵目、角针海绵目和树角海绵目。其中除钙质海绵目骨骼为钙质外，其余或者骨骼为硅质、或者无化石保存。

钙质海绵目(Calacea)骨针为三射、四射和棒状，通常不相连结（图版Ⅵ-5,6），具多种类型的水道系统。出现于泥盆纪至现代(图4-3，a)。

此外，具钙质骨骼的还有几种分类位置未定的海绵类型，如钝管海绵、托盘海绵。钝管海绵为单体或群体，圆柱形，由叠置的球形节组成，节间有隔板，体内有轴管贯穿各球形节中央，体壁厚，其上有无数入水孔(图4-3，b)。由于有类似海绵的水道系统，骨骼为钙质，故有人将它归于海绵类。出现于晚石炭世至三叠纪，我国仅出现于二叠纪。托盘海绵骨骼为钙质，有人认为属于钙藻，出现于奥陶纪至泥盆纪。

由硅质组成的海绵骨针原始成分为蛋白石，后多转变为玉髓或细晶石英。这类骨针各轴间常呈直角相交或呈60°、120°相交。

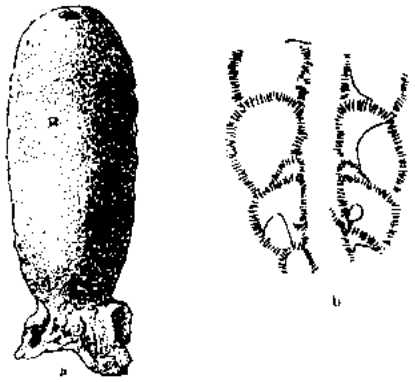


图4-3 海绵动物化石

a—钙质海绵目(小针海绵*Peronidella*)，sp，×3

b—钝管海绵(*Amblysiphonella*)，纵切面，×1

四、生活环境及地史分布

1．生活环境

现代海绵动物绝大多数为海生，仅少数类型如角针海绵目的个别代表生活于淡水。海绵营底栖固着生活，适应性较广，从热带到寒带、从低潮线至深海区都能生存，但多数分布于热带。钙质海绵固着生活于水深＜100m的具有急流的坚硬底质上，而在水深＜10m的正常海水中最为繁盛。而石海绵(*Sclerosponges*)主要生活在海水弱动荡的隐蔽环境，它们不能忍受粉砂的覆盖，故主要繁殖于沉积缓慢的地区。硅质海绵可生活在4000m以下的深海，以150—1000m水深较多。

钙质海绵亦是重要的造礁组份，在礁基及深水礁前起胶结作用。地史上它们常与珊瑚、腕足类等生物共生，因此一般认为在古生代和中生代它们主要生活于浅海，新生代与现代相类似，总的趋势是适应范围逐渐增大。

2．地史分布

海绵动物早在6.4亿年前的前寒武纪就已出现，如我国南方震旦系陡山沱组黑色页岩中发现有硅质海绵。寒武纪开始，海绵动物的六个目中已有三轴海绵、异射海绵、四

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

射海绵和角针海绵四个目存在。除异射海绵目在古生代末灭绝外，其他三个目延续至今。泥盆纪开始，钙质海绵目才开始出现并延续至今。树角海绵目至白垩纪才有可靠代表。

第二节　古杯动物门（Archaeocyatha）

一、一般特征

1．形态

古杯动物是早已灭绝的多细胞动物，形态如珊瑚，可呈单体和群体两种形式。单体者呈杯状、瓶状、倒锥状、圆柱状等，弯曲和直立(图4-4,a)；群体者呈链状或树枝状，个体直径在10—20mm，高80—150mm左右。

2．硬体构造

骨骼大多数为双层壁组成，少数为单壁，内外壁之间有幅射对称排列的隔壁和水平或弯曲排列的横板，有的还有拱形或下弯的未穿孔的小鳞板，内外壁、隔壁和横板均有穿孔，为进水通道，内壁外侧为中空的空腔，有时在底部具泡沫板(图4-4，b)。

3．硬体的矿物成分及显微结构

古杯类的骨骼主要由低镁方解石组成，常显示暗色微粒结构，暗色可能是因有机质较多之故。隔壁之间有时具一暗线，但很少见于曲板古杯纲中。除鳞板外，均见生长纹层，系由一层暗带和一层亮带交替组成。暗带厚而颗粒细，表示沉积快；亮带薄而颗粒粗，表示沉积慢，并呈现垂直骨骼表面的柱状，类似栉壳构造。若生长层继续发育，相当于原生加厚，可有2—3层，从外壁向内壁逐步进行，直到所有空间都被充填。在某些属中穿孔被封闭，但有些属未被封闭，穿孔在原生加厚壁中变成了孔道，使它继续维持与外界的联系。

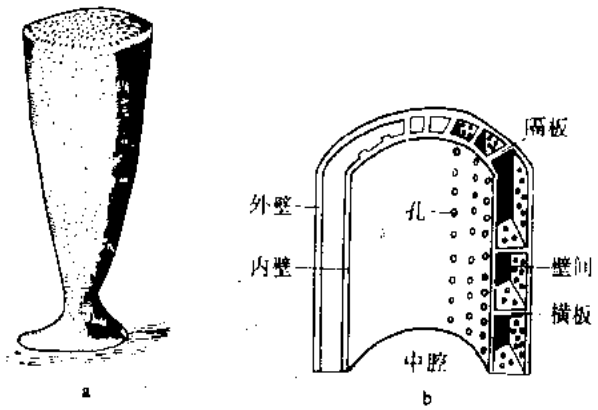


图4-4　古杯类外形及内部构造
a—单体外形；b—骨骼构造

二、主要类型

古杯动物门可分为四个纲，即：单壁古杯纲、隔板古杯纲、曲板古杯纲和管壁古杯

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

纲。我国发现的化石多属隔板古杯和曲板古杯两个纲。

隔板古杯纲(Septoidea)：杯体由内外两个多孔的壁构成，壁间常排列着多孔的隔板，有的也具横板，孔的类型较多(图4-5，$_{1-2}$)。出现于寒武纪。

曲板古杯纲(Taenioidea)：杯体由单壁或双壁构成，外形不规则，有单体也有复体，在单壁内或壁间内部都充填有曲板，有时也可见泡沫板(图4-5，$_{3-4}$)。出现于寒武纪。

古杯类以暗色粒状结构区别于珊瑚，以具有内壁、外壁以及穿孔的隔板和横板区别于钙质海绵。

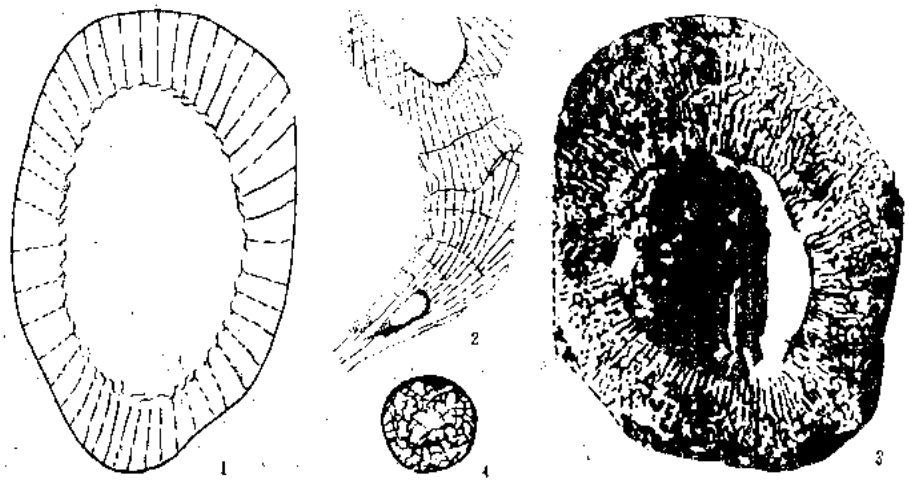


图4-5　古杯动物化石

隔板古杯纲：1—太勒古杯(*Taylorcyathus*)，横切面，×6；
2—蛸古杯(*Coscinocyathus*)，纵切面，×10；
曲板古杯纲：3—原古杯(*Archaeocyathus*)，横切面，×5；
4—网格古杯(*Retecyathus*)，横切面，×3

三、生活环境及地史分布

1．生活环境

古杯类生活于温暖或炎热的盐度正常的浅海，营底栖固着生活。通常与灰质藻、三叶虫、腕足类、腹足类、软舌螺等共生。最适宜生活的深度为20—30m，最深不超过50m，在此深度范围内可构成生物丘，为早寒武世造礁生物。据推测，古杯动物礁只能在南北回归线之间温暖、炎热的海洋中形成。古杯类能忍受一定数量的陆源物质，沉积物中含19—34%的陆源碎屑时，古杯类最繁盛，但对盐度忍耐性差，当岩石中MgO含量达5—8%时，仅少数种属才能见到。古杯类的丰度与形态可作为推测水深的标志(表4-1)。

2．地史分布

古杯类最早出现于震旦纪晚期，早寒武世中后期为古杯类最繁盛的时期，可构成生物丘，中寒武世开始衰退，灭绝于志留纪。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

表4-1 古杯动物形态类型与水深的关系(引自岩相古地理基础和工作方法)

形　　态	水　　深	能　　量	盐　　度	水　　温
小的杯状(少量)	5—10m	低	32‰—35‰	温暖
大的杯状(大量)	20—30m	高	32‰—35‰	温暖
大的盘状(少量)	30—50m	中	32‰—35‰	温暖
小的锥状(少量)	50—60m	低	32‰—35‰	较冷

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第五章　腔肠动物门
(Coelenterata)

腔肠动物是低等的二胚层多细胞后生动物。它已经开始有神经细胞和原始肌肉细胞的分工，并见有消化食物的中央腔、称为消化腔或腔肠，故而得名。

腔肠动物身体多呈辐射对称，以适应漂浮或固着生活，少数高等腔肠动物发展为两侧对称。体型可归纳为固着生活的水螅型和自由游泳的水母型(图5-1)。这两种类型往往是一种腔肠动物发展过程的两个阶段。体壁由外胚层、内胚层和中胶层组成。

腔肠动物门可分为五个纲，即：原始水母纲、钵水母纲、水螅纲、珊瑚纲、栉水母纲。其中仅水螅纲和珊瑚纲具有硬体，前者以角质为主，钙质少；后者反之。本章重点介绍这两个纲。

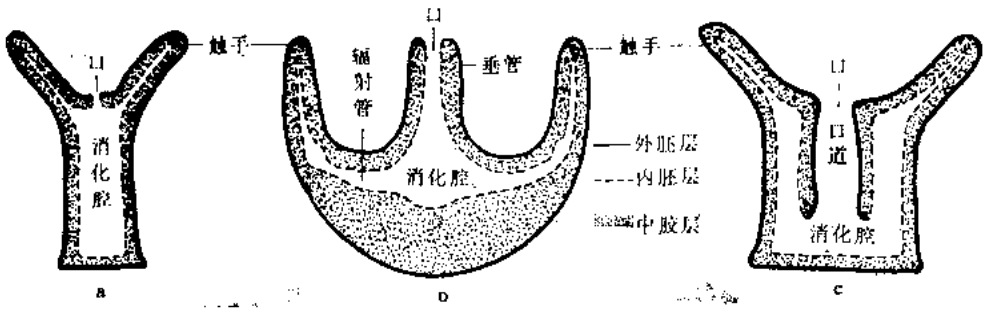


图5-1　腔肠动物的体型
a—水螅型；b—水母型；c—水螅型(珊瑚水螅)

第一节　水螅纲 (Hydrozoa)

水螅纲中能分泌钙质骨骼的有多孔虫目(Milleorina)、柱星虫目(Stylasterina)、层孔虫目(Stromatoporida)等，现分别介绍之。

一、多孔虫目和柱星虫目

水螅纲的多孔虫目又称千孔螅目，柱星虫目又称柱星螅目，多生活于第三纪和现代礁体中。

1．形态和构造

多孔虫目多为群体，外形呈块状或树枝状，骨骼由绳状不规则排列的钙质细丝组成。居住营养螅的大管叫腹管，其周围有许多小管，居住着捕食的小螅(指形螅)，称为指管。它们在外壁上分别表现为200—500μm的次圆状或不规则多边形的腹孔和10—40μm的指孔，孔之间有更细的小孔(图5-2，A-E)。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

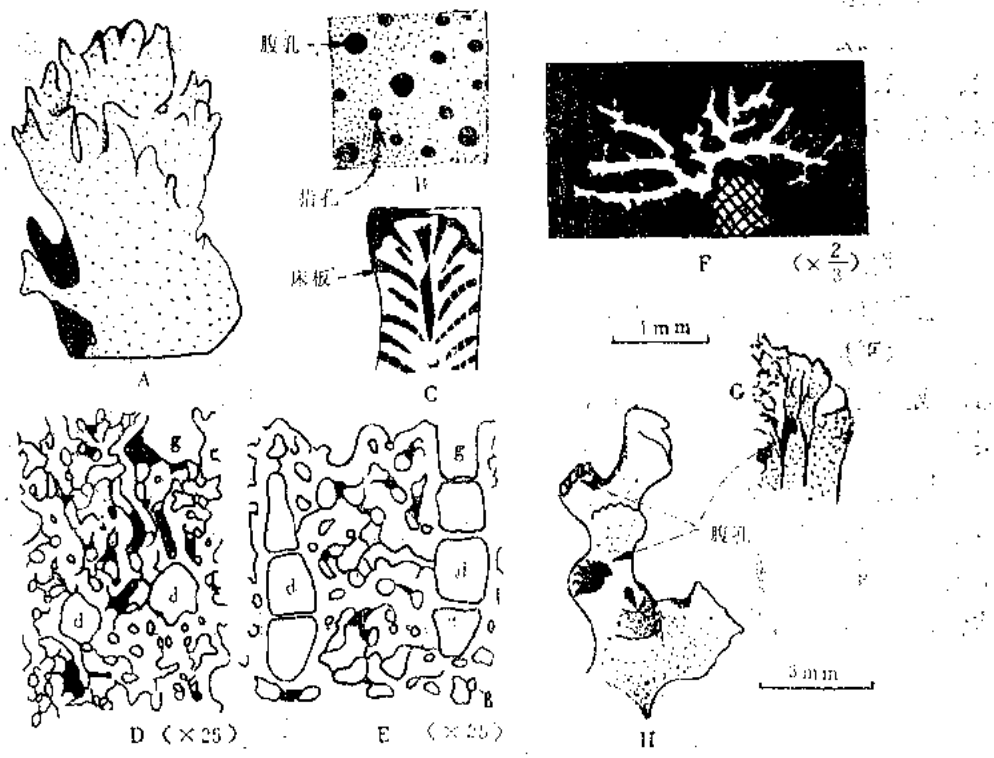


图5-2 水螅纲的形态和构造(据Shrock，1952)

A—E多孔虫(千孔螅)目：A—完整的群体；B—表面部份放大，可见被灰质骨骼分隔的腹孔和指孔；C—垂直切面放大，可见有床板和虫管(腹孔和指孔)；D、E—弦切面和纵切面的中倍放大，可见腹孔(g)、指孔(d)和共骨孔(c)

F—H，柱星虫目(柱星螅)：F—附着于岩石上的完整群体；G—分枝的一部份；H—腹孔的纵切面，可见内部构造

柱星虫目多呈群体，外形多柱状、分枝状，具环状系统，腹孔位于中央，周围环绕指孔，有些属的指孔与腹孔相连，而有些属的指孔与腹孔相隔一段距离，但仍呈环状排列，也有个别属的指孔平行于中央的腹孔排列(图5-2，F-H)。

2．矿物成份及结构

多孔虫目硬体由文石组成。柱星虫目在8℃以上的水中为文石质，在冷水中可局部或全部由方解石组成。

硬体的显微结构为球纤、线纤、层纤，但在化石中，多已转变为晶粒结构，有时残留纤状痕迹。

3．生活环境及地史分布

多孔虫和柱星虫两个目从白垩纪出现延续至现代，是一类造岩生物，主要分布在热带浅海中，营底栖固着生活，其生活的水深一般不超过20m，常出现于礁前。

二、层孔虫目

层孔虫是早已灭绝的生物，其软体结构和原始生活状况尚不清楚，目前仅能根据硬体特征推测，因此有关它们的分类位置仍有争议。由于其骨骼构造与水螅纲的某些代表类似，故暂放入水螅纲。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1．形态

层孔虫是由许多细小的个体组成的群体动物。硬体外形呈不规则的团块状、结核状、层状、圆柱状或分枝状态。整个层孔虫群体常形成大的“包心菜”式构造。大的群体可宽达2m，厚1m，小的直径不足1cm。硬体表面常有呈放射状排列的凹陷状浅沟，称“星状沟”，它由一个中央沟和放射状支沟组成。有些群体表面有圆形或不规则状突起，称为乳头状突起(图5-3)。

2．构造

层孔虫的骨骼由被称为水平组织的平行排列的水平纹层和称为直立组织的垂直支柱组成。水平层可分为细层和粗层。细层薄，平行排列，弯曲或带小褶皱、甚至断续分布，或呈叠瓦状断续排列，呈似泡沫状；粗层较厚。纹层间隔疏密不等，每间隔几个细层出现一个粗层。支柱是细小的直立组织，有实心的，也有空心的，有圆柱状的，也有分叉状的。支柱从细层向上生长，有的限制在两水平层之间，或穿越几个细层，分别呈方格状、放射状、羽状等，相邻两支柱与两水平细层之间的空间称柱廊或称虫室（图5-4，a）。细层和支柱或同等发育，或一个占优势。在某些独体层孔虫中，大都有体管构造，管内有横板，周围被泡沫状细层包围，无管壁构造（图5-4，b)。

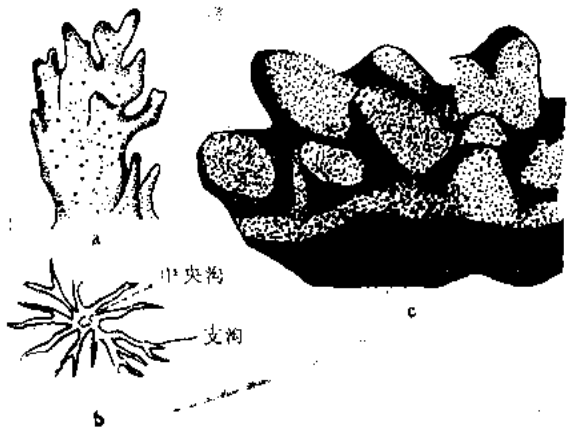


图5-3　层孔虫形态及表面特征

a—群体层孔虫完整形态；b—硬体表面的星状沟；c—乳头状突起

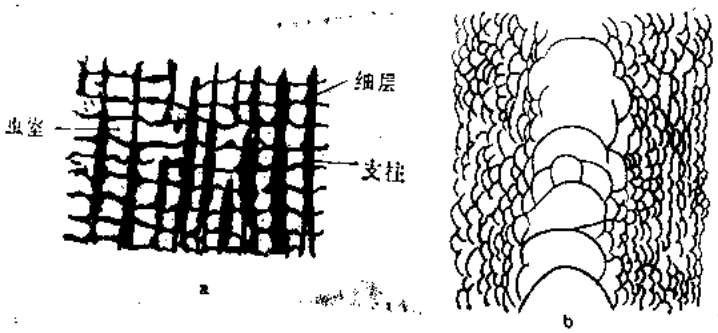


图5-4　层孔虫的骨骼构造

a—水平纹层状构造和支柱；b—轴管构造(纵切面)，内有横板四周有泡沫状细层

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3．硬体矿物成份及显微结构

层孔虫目硬体的矿物成分为低镁方解石。水平层具正纤结构，支柱为线纤结构组成，有些属具微粒结构，常被有机质污染形成暗色斑点。原生结构常因重结晶而向晶粒方向转化。柱廊常由亮晶方解石充填。独体层孔虫除泡沫网状组织为线纤外，其余均为层纤结构。

层孔虫以典型的水平纹层、支柱和星状沟等构造区别于珊瑚，以纤状结构和较规则的构造区别于钙质海绵。

4．代表性化石

（1）拉贝希层孔虫（*Labechia*）：硬体块状、次圆柱状。由向外凸的泡沫板和圆、粗而长的支柱组成，支柱穿越泡沫状细层（图5-5，1）。出现于晚奥陶世至石炭纪。

（2）方格层孔虫(*Clathrodictyon*)：硬体块状或层状，表面见星状沟，细层平整，支柱一般仅限于两细层之间(图5-5，2)。奥陶纪至泥盆纪。

（3）放射层孔虫（*Actinostroma*）：硬体块状或层状，有时具粗层，含很多细和粗的支柱，常贯穿3—6个细层，具星状沟（图5-6，1）。出现于志留纪至泥盆纪(图版Ⅵ-8)。

（4）双孔层孔虫(*Amphipora*)：硬体柱状或分枝状，具轴管，内含漏斗状横板，泡沫状细层围绕轴管周围(图5-6，2)。出现于泥盆纪至二叠纪。

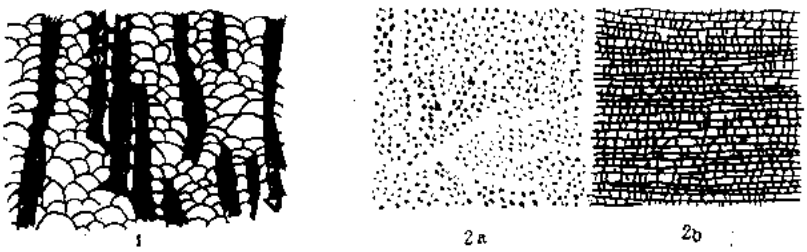


图5-5　拉贝希层孔虫和方格层孔虫

1—拉贝希层孔虫(*Labechia*)，纵切面，×6；2—方格层孔虫(*Clathrodictyon*)：2a—横切面，×10；2b—纵切面，×10

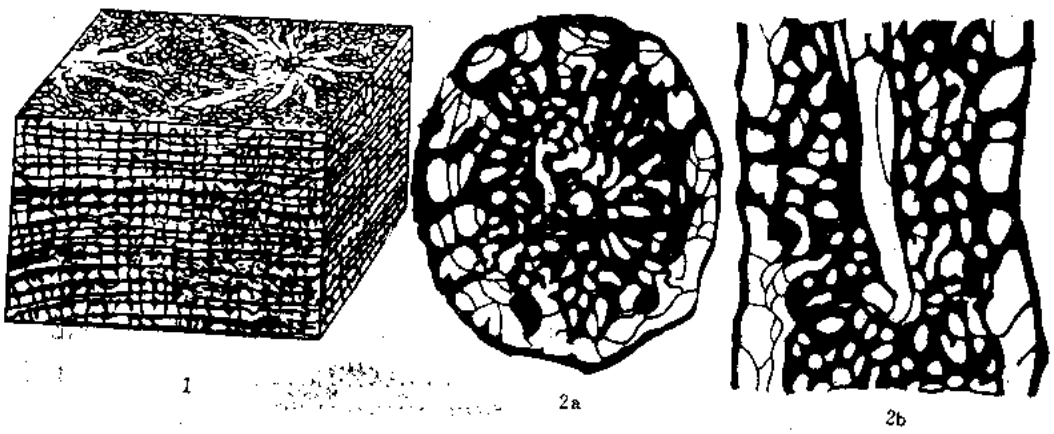


图5-6　放射状层孔虫及双孔层孔虫

1—放射状层孔虫(*Actinostroma*)；2—双孔层孔虫(*Amphipora*)：2a—横切面；2b—纵切面，×12

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

5．生活环境及地史分布

层孔虫生活于热带近岸浅海，营底栖固着生活，适宜生长于缺乏底流、混浊度低、沉积缓慢的软泥底质。条件适宜情况下可发育成块状、球状，在不适宜的情况下发育成层状、透镜状。层孔虫亦是造礁生物，常可与珊瑚共生，形成巨厚的礁灰岩。具树枝状的独体层孔虫适于安静的咸水环境，适应盐度较广，可生活于泻湖环境。层孔虫的形态与沉积环境的关系见表5-1。

层孔虫开始出现于中寒武世，一直延续到白垩纪。志留—泥盆纪是层孔虫最繁盛时期，与珊瑚一起成为当时重要的造礁生物。石炭纪以后渐少，白垩纪时灭绝。在我国主要分布在华南地区的古生代地层中。

表5-1　层孔虫形态与沉积环境的关系

形　　态	能　　量	水　　深	盐　　度
块状	高	5—20m	正　常
半球状	高	5—20m	正　常
球状	高—中	5—20m	正　常
层状(板状)	中	10—30m	正　常
透镜状	中—低	10—30m	正　常
球根状	低	5—30m	偏淡—正常—偏咸
枝状	弱	5—30m	偏淡—正常—偏咸

第二节　珊瑚纲（Anthozoa）

一、概述

珊瑚属于高级腔肠动物，为单体或群体。生长形态属水螅型（见图5　1，c）。身体的下端是固着的基盘，另一端具口，口的周围有触手，口的下端有口道，消化腔内有内胚层突出，形成放射状隔膜，并分成若干小室，结构上比水螅纲的水螅型复杂。

1．珊瑚骨骼的形成

绝大多数珊瑚为外骨骼，以钙质为主，少数为角质，骨骼位于体外成为灰质座，为珊瑚虫生长栖息之所。少数珊瑚为内骨骼，由中胶层变形细胞分泌，呈骨针或骨片，如现代八射珊瑚。

珊瑚的钙质骨骼是由外胚层细胞分泌的。当珊瑚幼虫离开母体固着成为一个新个体时，体壁基部首先分泌一个底盘，底盘边缘逐渐上长形成外壁。随着珊瑚虫的成长，分泌的骨骼也逐渐增加，软体也随之作阶段性上移，同时也阶段性地分泌一系列水平或倾斜的横板来支持软体。下垂的体壁在外壁的外面分泌钙质，形成环状皱纹的表壁（图5-7，a）。在分泌外壁和表壁的同时，体壁底部开始形成辐射状褶皱，褶皱上凸部份分泌直立的板状隔壁，用来支持软体（图5-7，b）。隔壁间下凹的软体部份上移过程中，外胚层分泌一系列规则的弯曲小板，称为鳞板，位于隔壁间珊瑚体的边部，亦用于支持软体。若隔壁间软体下凹不深，分泌的小板大小不规则，并先于隔壁生长，在珊瑚体边缘切断隔壁，称为泡沫板。随着珊瑚虫的生长和软体上移，硬体构造相应形成。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

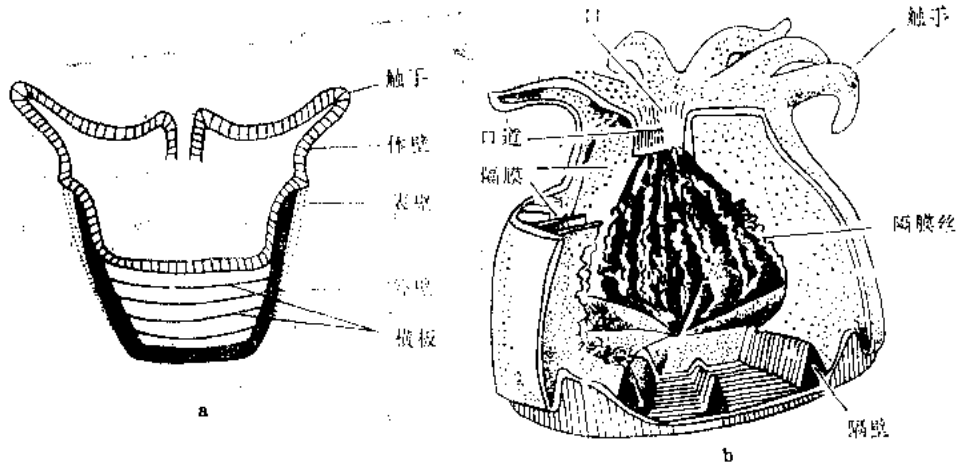


图5-7 珊瑚骨骼的形成

a—随着珊瑚的生长，分泌外壁、表壁和横板；b—六射珊瑚软体与骨骼的关系

2。分类

根据软体特征、骨骼硬体的有无及构造特点，可将珊瑚纲分为六个亚纲，即：四射珊瑚亚纲(Tetracoralla)、六射珊瑚亚纲(Hexacoralla)、八射珊瑚亚纲(Octoralla)、横(床)板珊瑚亚纲(Tabulata)、日射珊瑚亚纲(Heliolitoidea)和异珊瑚类(Heterocoralla)。前四个亚纲较为重要，其特征概括于表5-2。下面将分别介绍它们的特征。

表5-2 常见各类珊瑚硬体的主要特征

特征 \ 类型	横(床)板珊瑚	四射珊瑚	六射珊瑚	八射珊瑚
外形	全为群体(复体)，块状、丛状	单体：锥状、柱状、盘状等 群体：块状、丛状	单体：锥状、杯状、圆盘状等 群体(为主)：块状，树枝状、笙状等	群体：树枝状、棒状
硬体构造	横板最发育，隔壁和鳞板不发育，仅见隔壁刺或脊状突起，有的边缘有泡沫板，具特有的连接构造。	具有外壁、隔壁、横板、鳞板、泡沫板、中轴和中柱。原生的6个隔壁为序生，以后发育的次级隔壁按4的倍数轮生。	隔壁发育、外壁不发育。具中轴，个别有鳞板，无横板、泡沫板和中柱，次级隔壁按6的倍数轮生。	中胶层分泌钙质骨针和骨片，骨针形状多样。
硬体成矿物分	低镁方解石	低镁方解石	文石	高镁方解石 (少数为文石)
硬体显微结构	层纤结构	纤状结构 (层纤为主，亦有线纤)	线(柱)纤为主，亦有层纤和球纤，但常转化为次生晶粒结构。	玻纤结构
地质时代	$\in_1$—T	O—P	T—Rec	T—Rec

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

二、四射珊瑚

1．外形

四射珊瑚为已灭绝的珊瑚类型，其硬体有单体和群体（复体）两种。单体珊瑚呈锥状、柱状、盘状、拖鞋状，大小在1mm以上；群体者大小从几厘米至几米，形状为树丛状和块状两种。丛状群体珊瑚其个体互不接触，进一步分为枝状和笙状两种形态。前者形如树枝，各珊瑚个体向不同方向生长；后者形如笙状，各珊瑚个体彼此大致平行排列向相同方向生长，个体间由连接管或由分枝处相连(图5-8，a，b）。块状群体者个体紧密相连，进一步分为四种：(1）多角状，多个个体紧密接触形成多角形，个体的外壁全被保留；(2)多角星射状，与多角状者相似，但相邻单体外壁消失；(3)互嵌状，相邻单体外壁全部消失，以泡沫带相互连接；(4）互通状，所有个体外壁全部消失，相邻单体的长隔壁相互连接(图5-8，c-f)。

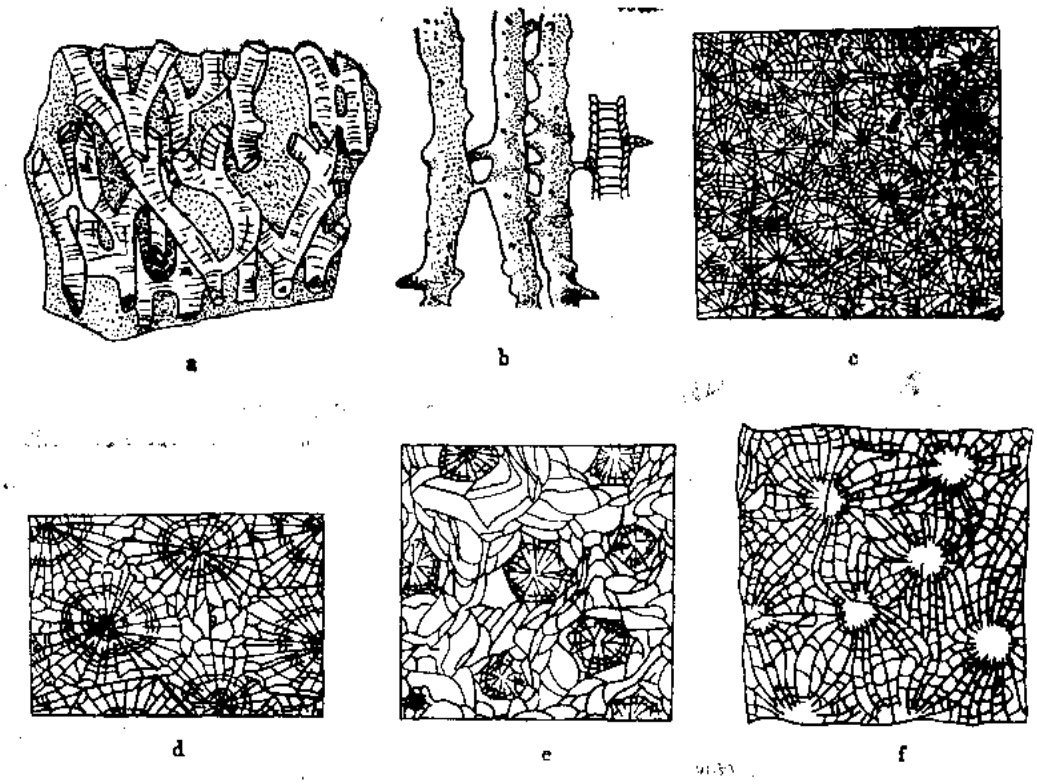


图5-8　四射珊瑚群体外形

a—枝状；b—笙状；c—多角状；d—多角星状；e—互嵌状；f—互通状

2．硬体构造

四射珊瑚硬体外部有外壁，为先发育的构造。内部构造包括纵列构造、横列构造和轴部构造。纵列构造即为隔壁；横列构造包括横板、鳞板、泡沫板；轴部构造包括中轴和中柱。

纵向隔壁按序生方式生长6个主隔壁，然后按4的倍数生长各次级隔壁。四射珊瑚一般只有一级隔壁和二级隔壁，有的可发育三级隔壁。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

横列构造中，横板有完整和不完整之分。完整横板自外壁内侧横越中心或从鳞板带一侧到另一侧，上下横板很少相交；不完整横板有交错(图5-9，a-c)。鳞板出现于隔壁之间，为大小规则呈鱼鳞状上拱的小板，往往在纵向上排列成行，相互叠复，可呈规则状、人字形、马蹄形等(图5-9，d,e,g)。泡沫板则为大小不规则的小板，并在近外壁边部切断隔壁，横切面上显示凸面朝中央(图5-9，f)。有些珊瑚类型其泡沫板充满珊瑚内腔。

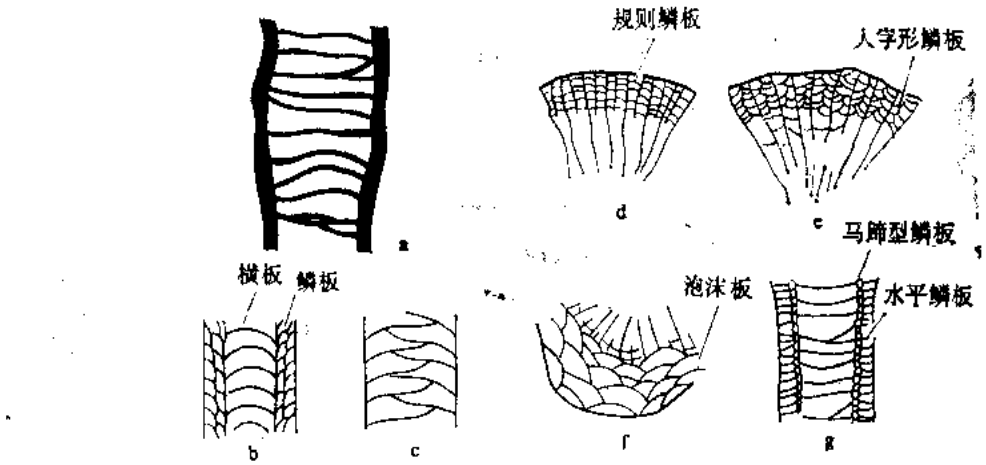


图5-9　四射珊瑚内部横列构造

a，b—完整横板；c—不完整横板；d—隔壁、规则鳞板；e—人字形鳞板；f—泡沫板；g—马蹄形鳞板

轴部构造的中轴位于体腔中央，由对隔壁在内端膨大形成，有时与对隔壁或其他长隔壁相连，横切面有时呈椭圆形(图5-10，a)。中柱由上凸的内斜板和长隔壁在内端分化出来的辐板共同组成，横切面呈蛛网状，轮廓为多边形或近圆形，中央常有一块由对隔壁形成的中板，并平分中柱(图5-10，b)。

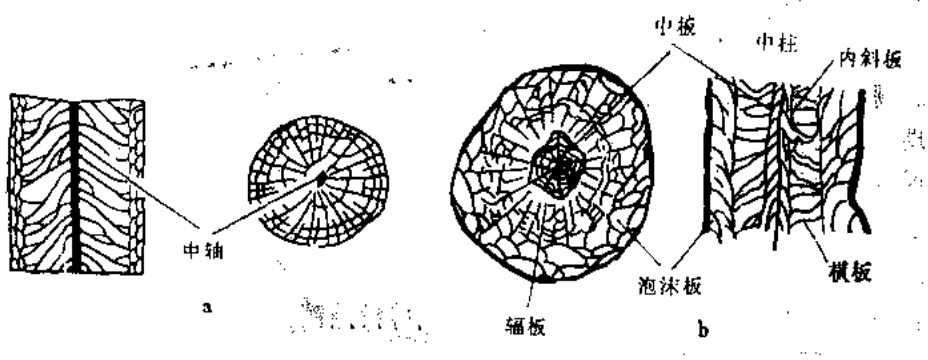


图5-10　四射珊瑚的轴部构造

a—中轴；b—中柱

综合上述，珊瑚的骨骼构造可根据纵列、横列和轴部构造组合，分为三种不同的骨骼构造类型，即单带型、双带型、三带型，另有泡沫型可视为特殊的三带型(表5-3)(图5-11)。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

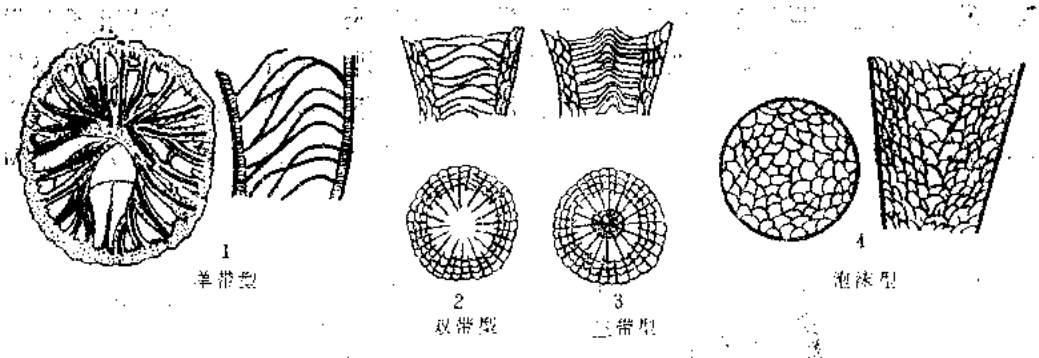


图5-11 四射珊瑚的构造类型

1—单带型；2—双带型；3—三带型；4—泡沫型

表5-3 四射珊瑚各带型组合

带型	构造组合	典型代表	地质时代
单带型	隔壁＋横板	扭心珊瑚(*Streptelasma*)	O_2—P (O, S为主)
双带型	隔壁＋横板＋鳞板	贵州珊瑚(*Kueichouphyllum*)	S—P (S, D为主)
	隔壁＋横板＋泡沫板	内板珊瑚(*Endophphyllum*)	
	隔壁＋横板＋中轴	顶柱珊瑚(*Lophophyllidium*)	
三带型	隔壁＋横板＋中轴＋鳞板	石柱珊瑚(*Lithostrotion*)	C—P (D有个别三带型)
	隔壁＋横板＋中轴＋泡沫板	泡沫柱珊瑚(*Thysanophyllum*)	
	隔壁＋横板＋中柱＋鳞板	棚珊瑚(*Dibunophyllum*)	
	隔壁＋横板＋中柱＋泡沫板	多壁珊瑚(*Polythecalis*)	
泡沫型	只有泡沫板、隔壁偶可有可无	泡沫珊瑚(*Cystiphyllum*)	O_2—D_2 (S—D为主)

注：表中除内板珊瑚、多壁珊瑚为柱珊瑚亚目、泡沫珊瑚为泡沫珊瑚亚目之外，其余类型皆为扭心珊瑚亚目。

3．硬体矿物成分及显微结构

四射珊瑚硬体由低镁方解石组成，图面其结构保存较好。

珊瑚纲的硬体一般为纤状结构，以富含有机质的暗色微粒结构为基础向内或向上生长。四射珊瑚的外壁和横列构造(横板、鳞板、泡沫板)一般为层纤结构，多是在暗色微粒结构的基面上向内向上生长发育而成。四射珊瑚的隔壁为两向生长的层纤结构，由微粒结构的基面向上生长，垂直或斜交隔壁，但志留—泥盆纪的某些四射珊瑚其隔壁具线纤结构。中轴由粗大的纤体放射状排列而成，中轴的幅板、中板也为层纤结构。

4．四射珊瑚的类型和演化

四射珊瑚通常分为三个亚目，即：扭心珊瑚亚目（Streptelasmatina）、柱珊瑚亚目（Columnariina）、泡沫珊瑚亚目(Cystiphylliina)。四射珊瑚化石繁多，其中重要的有24个科，常见的代表性化石见图5-12、表5-3及图版Ⅵ-1-3。详细介绍各类珊瑚的特征，已超出本书的范围，读者可参阅有关珊瑚化石专著或古生物学教科书，这里不再一一赘述。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

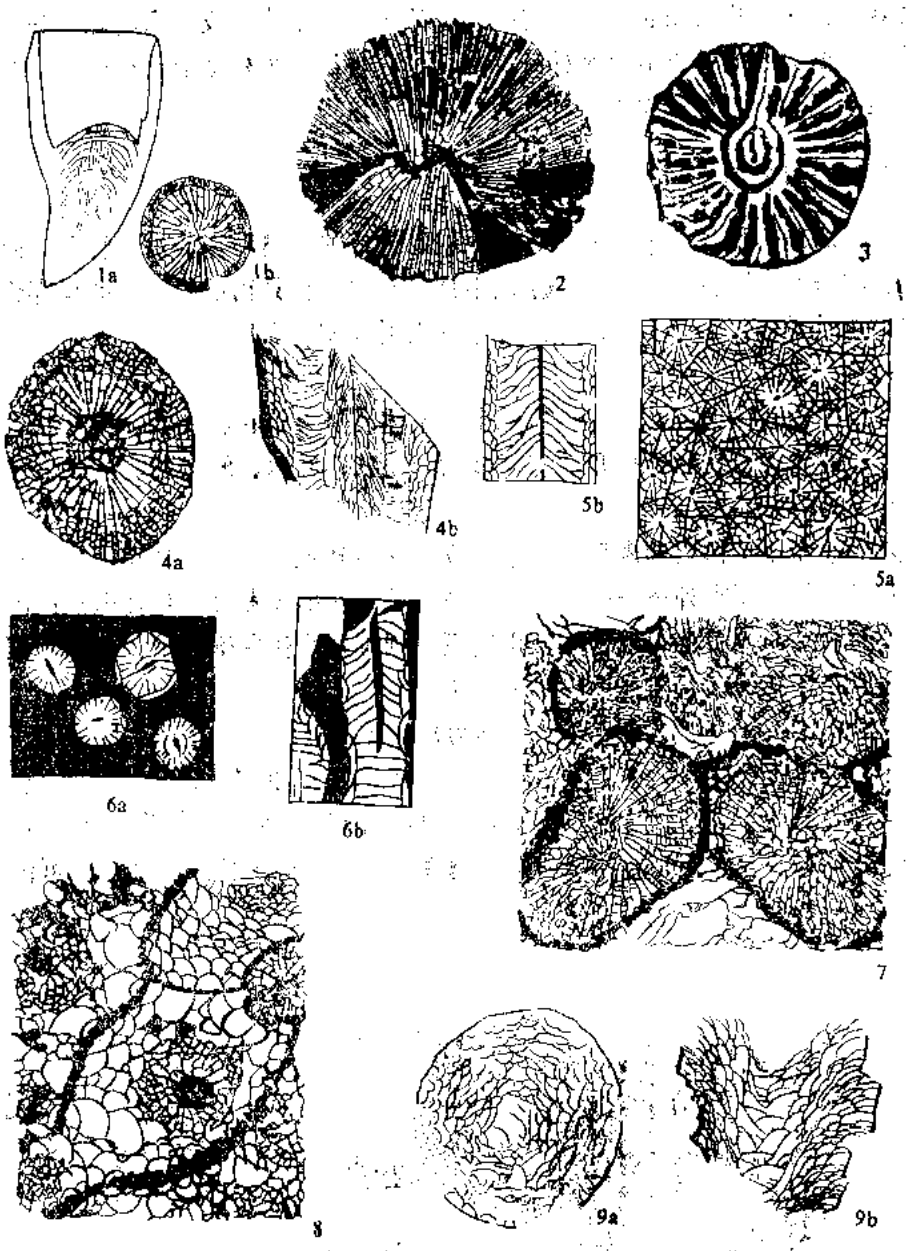


图5-12　四射珊瑚的代表性化石

扭心珊瑚亚目：1a，1b—扭心珊瑚(*Streptelasma*)，×1，O_2—S；
2—贵州珊瑚(*Kueichouphyllum*)，×0.3，C_1；
3—顶柱珊瑚(*Lophophyllidium*)，×3，C—P；
4a，4b—棚珊瑚(*Dibunophyllum*)，×1.5，C；
5a，5b—石柱珊瑚(*Lithostrotion*)，×3，C_2；
6a，6b—泡沫柱珊瑚(*Thysanophyllum*)，×1，C_1；
柱珊瑚亚目：7—内板珊瑚(*Endophyllum*)，×1，D_2；
8—多壁珊瑚(*Polythecalis*)，×2.8，P_1；
泡沫珊瑚亚目：9a，9b—泡沫珊瑚(*Cystiphyllum*)，×1.4，S—S_2

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

随着时间的推移，四射珊瑚表现出由低级到高级、由简单到复杂的演化趋势。具体表现在三个方面：(1) 内部构造趋于复杂，一般由单带型发展至双带型，再演化至更高级的三带型，但并非所有的四射珊瑚都能发展到最高级阶段；(2) 外形的演化一般由单体到复体，由丛状到块状，但某些类别在特定条件下亦有反方向转化，在块状复体中外壁演化是由完整的外壁演化至外壁局部消失，再演变为外壁全部消失；(3) 骨骼的显微结构趋于复杂化，如隔壁由层纤变为线纤。

三、六射珊瑚

六射珊瑚为现代热带和温带海洋中相当繁盛的一类动物。由于触手和隔膜的数目一般为6的倍数，故而得名。六射珊瑚中只有石珊瑚目具钙质骨骼，并保存为化石，其他类型为角质骨骼，无化石。故这里介绍的六射珊瑚为石珊瑚目。

1．形态

有单体和群体两类，但以群体最多。单体者呈直锥状、杯状、陀螺状、圆柱状、圆盘状等；群体者有块状、多角状、树枝状、笙状、叶状、蜂巢状、盘状、球状等。

2．硬体构造

六射珊瑚不象四射珊瑚那样具有独立的原生外壁，它们的外壁多是与某些内部构造演化有关。如由原来外壁联接隔壁外端经灰质加厚形成者称原生外壁；由隔壁外端灰质加厚彼此联接而成者称隔壁外壁；由鳞板规则排列取代隔壁外壁者称拟外壁；由一列或数列简单或复杂的联板围合而成者称联板外壁。

六射珊瑚有六个原生隔壁，但与四射珊瑚不同。它的六个原生隔壁几乎同时发生(轮生)，二级隔壁也为六个，插入一级隔壁间，以后的各级隔壁为6的倍数，均为轮生。一般可发育至3—4级，极少类型可发育8级隔壁。隔壁凸出于珊瑚外壁的部份称隔壁脊(图5-13，1)。个别有鳞板，薄而弯曲，位于个体的隔壁之间，也可位于珊瑚外壁以外。

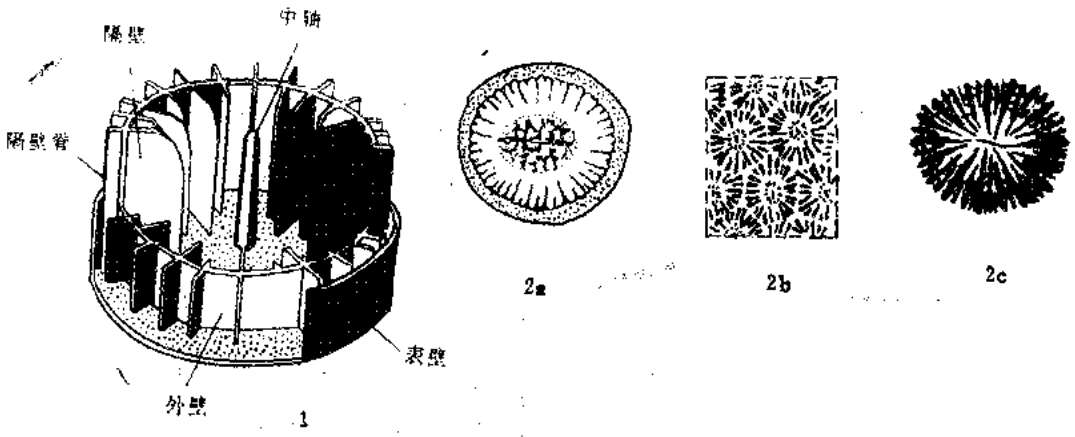


图5-13　六射珊瑚的内部构造

1—石珊瑚的基本构造(外壁、隔壁、隔壁脊、中轴)；2a—海绵状中轴；2b—柱状中轴；2c—板状中轴

六射珊瑚一般发育中轴，但与四射珊瑚不同，它往往不是实心的，而类似多孔状或星射状，按成因和形状可分为海绵状、柱状、板状三种类型(图5-13，2a，2b，2c)。六射

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

珊瑚不发育横板、泡沫板和中柱。

3．硬体矿物成分及显微结构

六射珊瑚硬体由文石组成，其外壁和隔壁主要为线纤结构，但也有呈层纤和球纤结构者。化石硬体因文石的转化而多呈晶粒结构。

4．主要类型

六射珊瑚化石多见于中生代，常见的化石如等星珊瑚（*Isastrea*）、灌木星珊瑚（*Thamnasteria*）、高壁珊瑚）*Montlivaltia*）、柱剑珊瑚（*Stylosmilia*）、拟杯珊瑚（*Paracyathus*）、角杯珊瑚（*Cyathoceras*）等（图5-14）。

六射珊瑚在现代热带、亚热带海洋中广泛分布，成为重要的造礁生物，如我国西沙群岛和海南岛沿岸浅水地区广泛发育的现代珊瑚礁主要为六射珊瑚组成（图版Ⅶ-4）。主要类型有滨珊瑚、扁脑珊瑚、蜂巢珊瑚、鹿角珊瑚、石芝等。

四、八射珊瑚

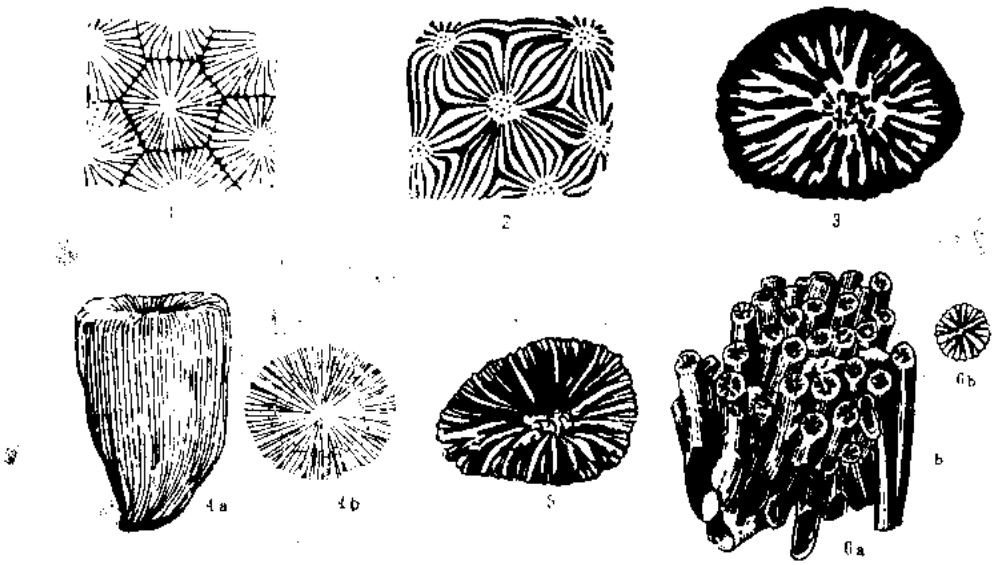


图5-14　六射珊瑚的代表性化石

1—等星珊瑚（*Isastrea*），×4，J_2—R；　2—灌木星珊瑚（*Thamnasteria*），×5，T_2—R；
3—拟杯珊瑚（*Paracythus*），×3，R_{ec}；　4a、4b—高壁珊瑚（*Montivaltia*），×2，T_1—R；
5—角杯珊瑚（*Cyathoceras*），×1，R—R_{ec}；　6—柱剑珊瑚（*Stylosmilia*），×2，J—R_2

1．形态和构造

八射珊瑚为群体，呈树枝状或棒状。八射珊瑚中除共壁珊瑚分泌钙质骨骼外，大多数为中胶层分泌钙质骨片或骨针。骨针多集中于群体基部和隔壁间、轴间的体壁中。骨针形态变化很大，一般为核形、棒状，或呈十字棒、火炬状、星形等，长一般100—300μm，直径数十微米（图5-15）。

2．骨针成分及显微结构

八射珊瑚骨针由高镁方解石组成，具玻纤结构。洛温斯坦（Lowenstan，1963）证明八射珊瑚中的柳珊瑚骨片为高镁方解石，但在基部和近基部的轴部可有不同比例文石和方解石组成，环境温度低于15℃时全由方解石组成，高于22℃全为文石，八射珊瑚中的

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

共壁珊瑚目的硬体为文石组成。

我国海南岛可见有八射珊瑚骨针组成的海滩岩(图版Ⅲ-5,6)。

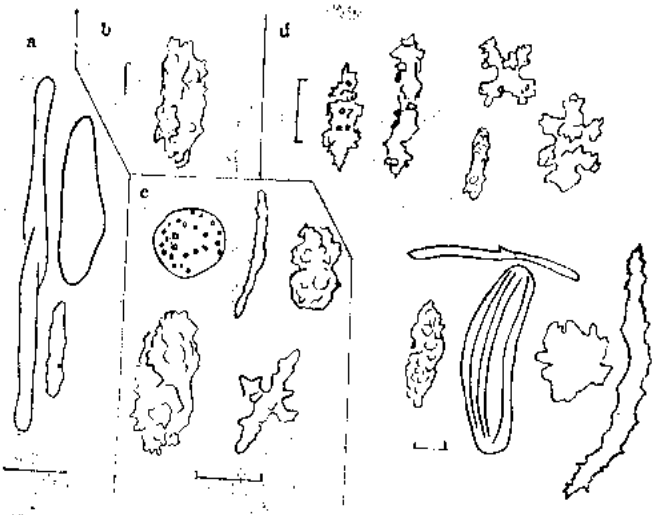


图5-15 八射珊瑚骨针(据Milliman)

a—海鳃类骨针；b—融合的多茎类(笔珊瑚)；c—海鸡冠；d—柳珊瑚类骨针。线标尺为100μm

五、横板珊瑚

1．外形

横板珊瑚又称床板珊瑚，是珊瑚纲中已灭绝的一类，为群体生物，故化石常为复体。个体小，一般<4—5mm。复体可分为块状和丛状两类(图5-16)。块状者呈球状、

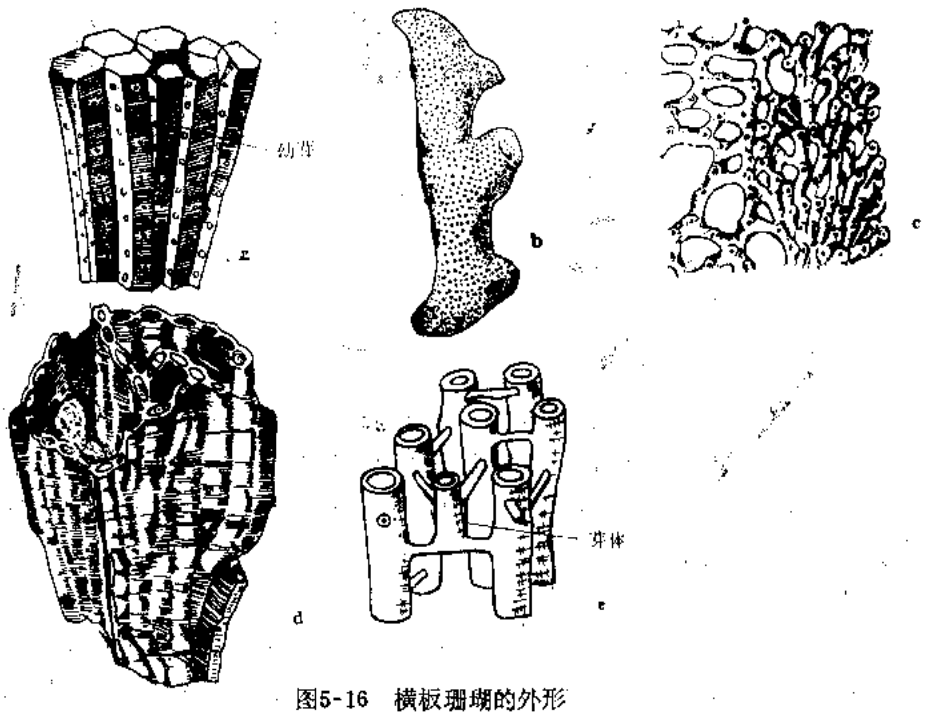


图5-16 横板珊瑚的外形

a—块状复体；b—块枝状复体；c—枝状复体；d—链状复体；e笙状复体

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

半球状、铁饼状、板状等，块状复体中的个体彼此紧密相连，横断面呈多角形、半月形。丛状复体外形有笙状、树枝状、链状、菱状，丛状复体的个体之间有一定的空隙，个体呈圆柱状、多角柱状、喇叭状、椭圆状等。

2．构造

横板珊瑚具有连接构造，即连接孔、连接管、连接板三种形式，以连接构造来连接和沟通各个个体的体腔。

横板珊瑚内部构造最重要的特征是横板发育，故而得名。横板有完整和不完整之分。前者横跨整个个体体腔，有水平的、倾斜的；后者在体腔中有间断，有交错状、漏斗状等，有的上下漏斗相连接，在轴部形成轴管。在边缘有时可有边缘泡沫板。隔壁和鳞板不发育，仅见隔壁刺或脊状突起。

3．矿物成分及显微结构

硬体的矿物成分为低镁方解石，外壁和横板一般具层纤结构，沿暗色微粒结构的基面向上向内生长，纤体粗大，生长层清楚。

4．主要类型

横板珊瑚可分为具连接构造和不具连接构造的两种类型。前者代表性化石有古蜂巢珊瑚（*Palaeofavosites*）、灌木珊瑚（*Thamnopora*）、早坂珊瑚（*Hayasakaia*）；

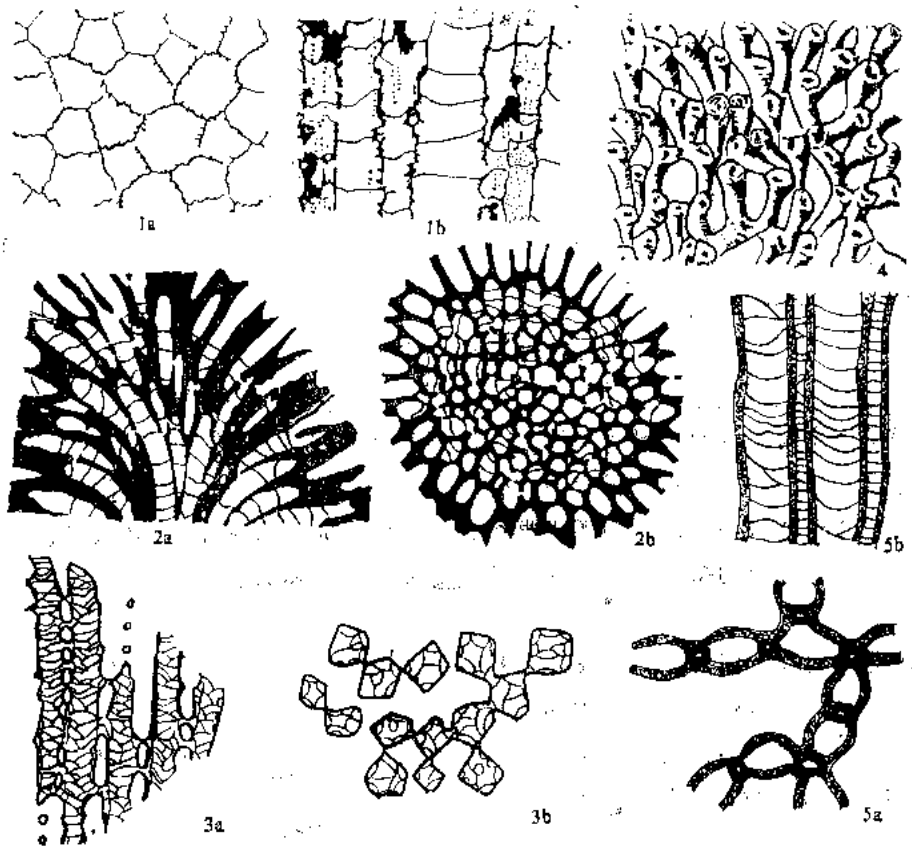


图5-17　横板珊瑚的代表性化石

1a，b—古蜂巢珊瑚(*Palaeofavosites*)，×5，O_2—S_3；2a，b—灌木珊瑚（*Thamnopora*），×4，O_3—D；3a，b—早板珊瑚(*Hayasakaia*)，×3，O_2—S；4—喇叭珊瑚(*Aulopora*)，×2，O—P；5a，b—链珊瑚(*Halysites*)，×5，O_2—S

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

后者的代表性化石有喇叭珊瑚（*Aulopora*）、链珊瑚（*Halysites*）等（图5-17）。

六、生活环境及地史分布

1．生活环境

珊瑚属典型的海洋底栖生物，一般生活于盐度正常、海水清澈透光、循环良好、氧气充分、营养丰富、底质坚硬的热带和亚热带浅海，仅少数可生活于冷水和大于2000m的深海中。盐度的变化、混浊的海水、过低过高的温度、封闭的环境、松软的底质、陆源碎屑的注入等，对大多数珊瑚的生长发育都是不利的。按照生态，珊瑚可分为造礁型和非造礁型，它们的生活环境有所不同。

（1）造礁珊瑚：包括古生代群体四射珊瑚、横板珊瑚和许多现代的群体六射珊瑚，它们多为抗浪性强的块状复体。现代造礁的六射珊瑚软体组织中发现有与之共生的单细胞藻类——虫黄藻，这种藻靠吸收珊瑚虫排出的CO_2进行光合作用制造养料来维持自己的生存，而珊瑚虫又需要依靠藻类的光合作用来促进自己的新陈代谢，并有助于钙质骨骼的分泌作用，促使珊瑚骨骼的快速生长，所以珊瑚虫和虫黄藻二者是相依为命相互依存的关系。由于藻类生活急切需要阳光，故造礁珊瑚的生长只限于浅海透光带。现代造礁珊瑚生活所要求的环境见表5-4。

表5-4　造礁珊瑚的生活环境

环境因素	最大范围	最适宜范围
水温	15—36℃	25—30℃
深度	0—90m	<20m
含盐度	27‰—48‰	34‰—37‰
透明度	清澈透明、浊度低	
溶解氧	>4—5ml/l	
底质	坚硬底质	基岩、砾石
纬度	南北纬60°范围内有珊瑚礁体的分布	主要分布在南北纬28°之间的热带、亚热带浅海，在太平洋赤道南北13°之间的范围内最繁盛

造礁珊瑚往往构成较大规模的礁体，在珊瑚礁体的迎风面的高能环境，水体循环良好，氧气充足，风浪和水流可携带大量食物，因而珊瑚特别发育，礁后背风的低能环境，珊瑚的发育程度较差。泻湖中珊瑚群体细小，可形成小型礁体（点礁）。造礁珊瑚严格的生态环境及其分布的规律性，对确定地史时期的古纬度、古赤道位置、古气候变迁都具有重要意义。

（2）非造礁珊瑚：四射、六射珊瑚的单体和小型块状、分枝状群体以及多数八射珊瑚为非造礁珊瑚，适应性较广，可生活于较松软的泥、砂底质上，分布于较大的深度和温度范围。有些非造礁的六射珊瑚单体生活在水温<20℃、水深达600m的海底，以180—550m间的海底最发育，可形成深水滩。

2．地史分布

珊瑚最早出现于中寒武世，一直延续至现在，成为地史上和现代重要的造礁生物。其中最早出现的为横板珊瑚，它从中寒武世开始出现，至三叠纪灭绝。主要发育在奥陶纪至泥盆纪。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

四射珊瑚从中奥陶世早期开始出现，至二叠纪末期灭绝，三个目差不多同时出现。一般认为四射珊瑚可能起源于横板珊瑚。在地史上有四个繁盛时期：(1) 晚奥陶世至中志留世为第一个繁盛时期，演化迅速，大量造礁；(2) 早泥盆世晚期至中泥盆世，为四射珊瑚的第二个繁盛时期；(3) 早石炭世为第三个繁盛时期，出现典型的三带型四射珊瑚；(4) 早二叠世为四射珊瑚的第四个繁盛时期，但远不及上两次高潮。晚二叠世趋于灭绝。

六射珊瑚在中三叠世开始出现，一直延续至今，而且是现代重要的造礁生物。我国四川、云南、青海、西藏中生代地层中发现不少此类化石。

八射珊瑚最早出现于三叠纪，并延续至现在，化石不多见。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第六章　苔藓动物门(Bryozoa)

第一节　一般特征

苔藓动物通常又称苔藓虫，为后生三胚层动物，具真体腔、身体不分节，因群体外形很象苔藓植物，故而得名。

一、外形特征

苔藓虫个体微小，外形呈管状或束状，其横切面直径一般<1mm，长不超过数毫米。体内为宽阔的体腔，上端有触手和口，口通体腔内的“U”形消化道，其末端为肛门(图6-1)。软体体壁外层细胞分泌角质或钙质管壁，作为苔藓虫软体的栖息之所，称为虫室。虫室多呈管状，又称虫管，少见瓶形、梨形、箱形等。

苔藓虫的繁殖以出芽方式形成虫室稀疏的或紧密排列的群体。由于出芽的速度、方向、排列及疏密程度不同，形成群体的形状各有不同，常见有枝状、网状、片状、薄层状、半球状、球状、不规则状以及螺旋状等(图6-2)。

二、苔藓虫的硬体构造

苔藓虫的虫室由钙质组成，并常保存为化石。虫室前端开口处称室口，有的具口盖，室口外围有钙质环状构造称口围。虫室口后方因管壁增厚而形成新月型外凸构造。虫室少数中空，多数具有把虫室分为若干段的横板，为个体阶段发育分泌的产物。有些类别在虫管内具泡沫板，它是由一些弯曲而不规则的薄板所构成。许多苔藓虫在虫室之间分布着许多不规则的多边形细管，称为间隙孔，其特点是比虫室小，内部横板密集，并在复体的边缘部份发育。在有些苔藓虫的管壁上，特别是在多边形管壁的接触角上具有与虫室壁平行而穿入壁内的针状微孔，称为刺孔，孔内常有钙质充填，在虫管的横切面上表现为黑色的小圆点或小圆圈(图6-3)。另有一些苔藓虫在分散的虫室之间，充满着由许多重叠的泡沫板组成的泡沫组织(图6-4)。

苔藓虫群体早期生成的部份称幼年期带或未成熟带，其特征是虫管壁薄，横切面多角形，横板稀疏，泡沫板、间隙孔、刺孔均不发育，通常位于中央，故又称为中央带或内带。晚期生成的部份称为成年期带或成熟带，其特征是虫管壁增厚，横切面呈圆形，横板密集，泡沫板、间隙孔、刺孔发育，通常位于边缘，故又称边缘带或外带(图6-5)。

在苔藓虫的网状复体中，每个枝的中部有一条纵向凸线，称为中棱，枝与横枝结成的网状空隙称为窗孔(图6-6)。网状复体中有正、反面的区别，虫室口的一面称正面，另一面称为反面。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

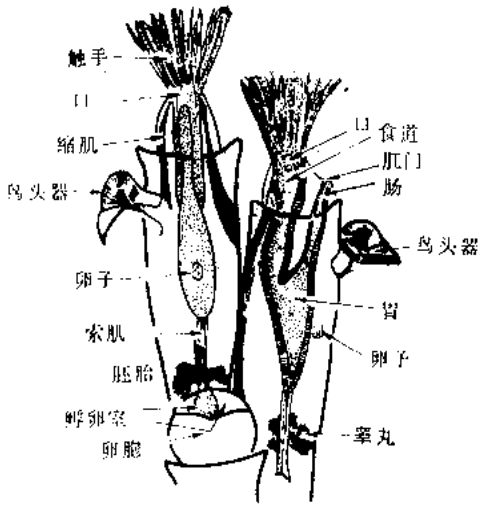


图6-1 苔藓虫个体构造

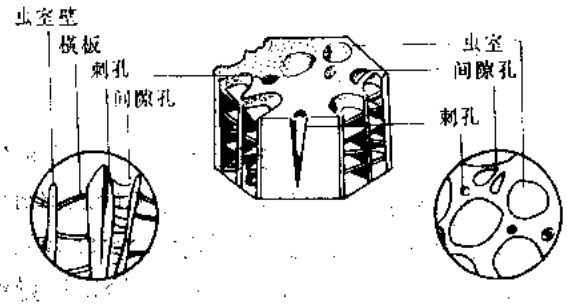


图6-3 苔藓虫的硬体构造

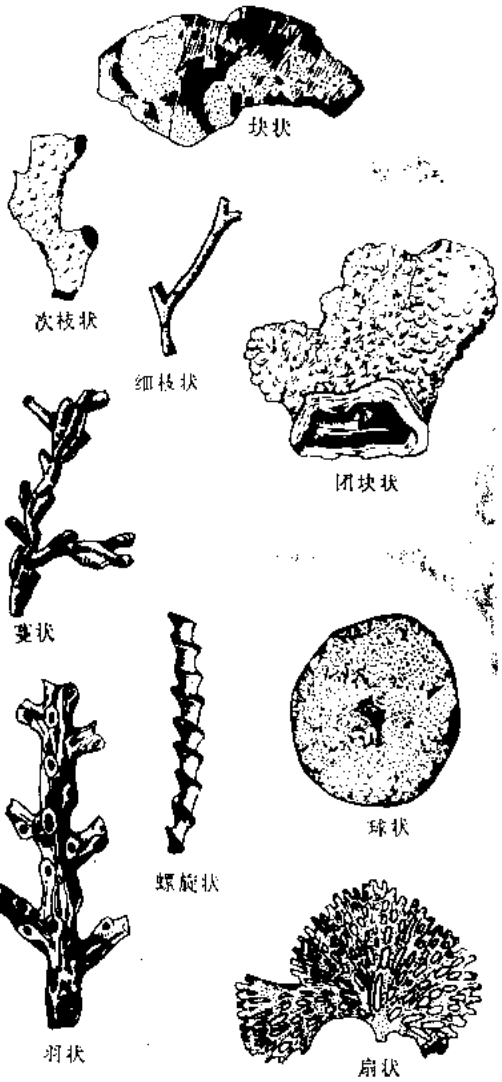


图6-2 苔藓虫群体外形

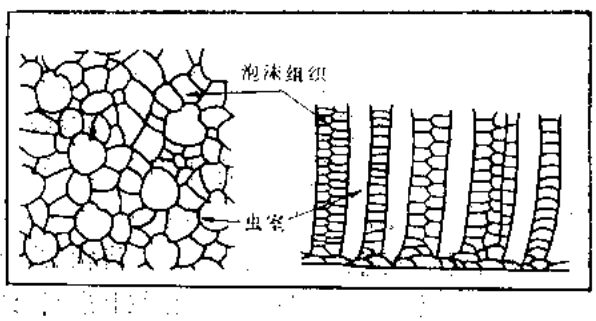


图6-4 苔藓虫的泡沫状组织

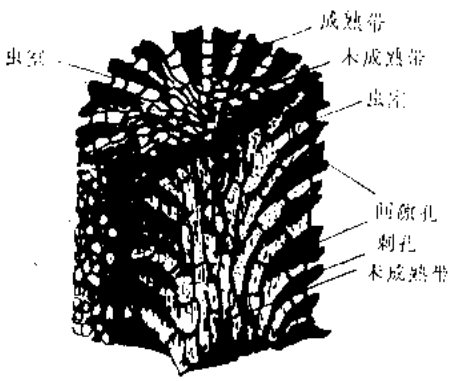


图6-5 苔藓虫群体的成熟带(外带)和未成熟带(内带)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

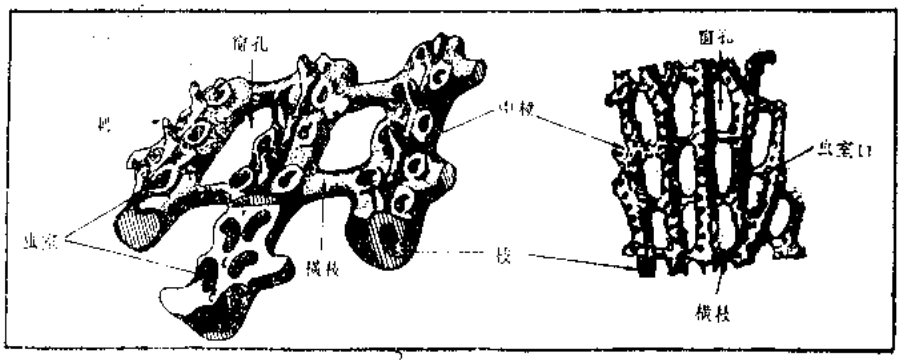


图6-6　苔藓动物的网状硬体构造

三、矿物成分及结构

苔藓动物的大多数硬体原始矿物成分为低镁方解石，有些现代种属有文石和高镁方解石的成分。硬体显微结构以纤状和片状结构为主，外层常呈现微粒结构。

苔藓类以平行片状结构为其重要的鉴定特征，和腕足类平行片状结构的区别在于前者片体褶曲较剧烈，似有毛毯状，色较深，而且苔藓虫多虫室构造也易与腕足类相区别。

第二节　苔藓动物的主要类型

苔藓动物门可分为内肛亚门和外肛亚门，仅后者有硬体。外纲亚门进一步分为护唇纲、裸唇纲和窄唇纲，仅后两个纲有化石。这两个纲共有六个目：栉口目(Ctenostomata)、唇口目(Cheilostomata)、隐口目(Cryptostomata)、泡孔目(Cystoporata)、环口目(Cyclostomata)、变口目(Trepostomata)。其中栉口目从奥陶纪开始出现延续至现代，但化石极少。下面仅就其他五个目化石特征作概略介绍。

一、隐口目

1．外形和构造

群体的外形大多呈网格状、扇状、漏斗状，部份呈枝状、螺旋状或羽状，通常由许多分枝构成，分枝平行排列、彼此分开，相邻两枝间有横枝相连，构成网状。枝状群体的分枝常作羽状排列，虫室短而粗，呈囊状或匣状，少数呈管状，横切面圆形、长方形或多边形。虫室表面的开口为外室的室口，真室口隐藏在硬体内，故称为隐口目。虫管内有或无横板，有刺孔，一般缺乏间隙孔。分枝表面有直线形、波浪形或锯齿状的隆起线，即中棱或脊线，并将室口分割开来。群体有很短的内带与外带，每分枝上虫室至少有两行，平行排列。

2．矿物成分与显微结构

硬体矿物成分为低镁方解石，虫室之间的间壁和中棱由单晶微粒组成，消光与生长

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

方位一致。间壁之外的管壁为很厚的片状结构，薄片越接近虫管就越密，看上去在虫管周围似乎像有同心的暗色圈。因片体极薄而密，在横切面上常呈绒毛状，纵切面上平行于外形。

3．代表性化石

隐口目常见的化石有：网格苔藓虫（*Fenestella*）、多孔苔藓虫（*Polypora*）、羽苔藓虫（*Penniretepora*）、针管苔藓虫（*Stictoporella*）（图6-7）（图版Ⅶ-7,8，Ⅵ-1,2）。

二、变口目

1．外形及构造

变口目苔藓虫外形呈薄层状、板状、块状、球状、枝状，虫室为细长的圆管状或多角柱状，虫管断面呈圆形或多角形。分带明显，未成熟带（幼年期）较长，虫室呈棱柱状，断面为五边形或六边形，壁薄、横板少；成熟带（成年期）短，虫室呈圆柱状或棱柱状，壁厚，常发育次生虫室，多间隙孔和孔次，间隙孔比虫管小，弦切面上刺孔呈气泡状，也有呈不规则的花朵状，横板较密而多，部份具泡沫板（图6-8）。虫室体壁是独立的，当分界显著时称为分壁，否则称合壁。

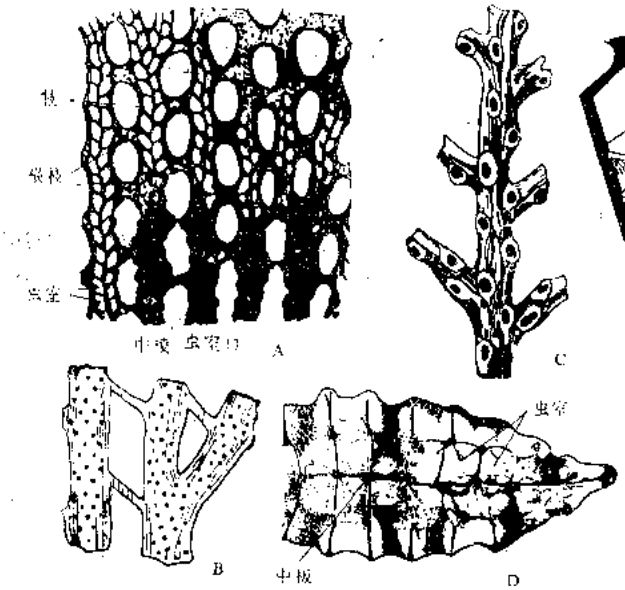


图6-7　隐口目苔藓虫代表性化石

A—网（窗）格苔藓虫（*Fenestella*），S—P；B—多孔苔藓虫（*Polypora*）×5，S—P；C—羽苔藓虫（*Penniretepora*），×20，D—P；D—针管苔藓虫（*Stictoporella*），×50，D—P

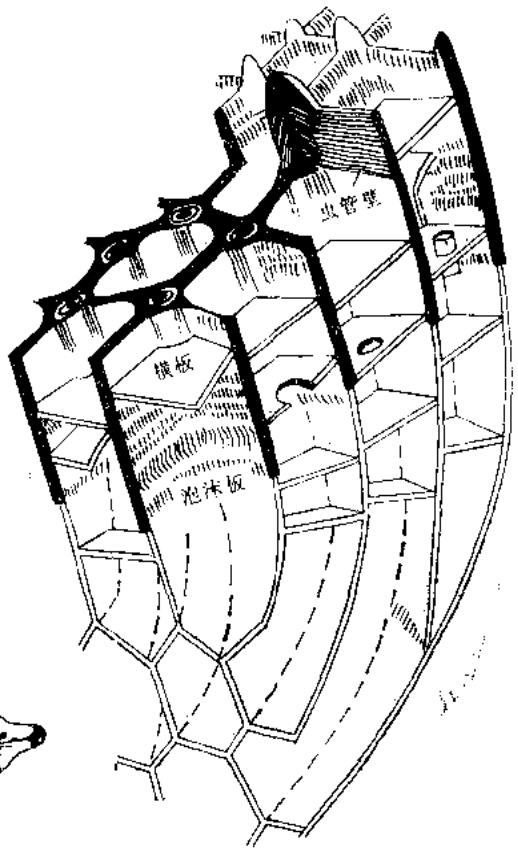


图6-8　变口目苔藓虫虫管立体构造示意图（据Cuffey，1967）可见横板、泡沫板、虫管壁（片状结构）和刺孔，刺孔存在于管壁中。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2．矿物成分及显微结构

变口目苔藓虫硬体矿物成分亦为低镁方解石。未成熟带（幼年期）虫室壁为粒状结构，外面叠加正纤结构。成熟带（成年期）呈平行片状结构，有时存在一层很薄的微粒结构位于虫室壁之间。纵切面上片体呈向外隆起的叠锥状。

变口目苔藓虫的未成熟带为微粒加正纤结构而与某些腔肠动物相似，但以其纤体没有后者发育而区别之。

3．代表性化石

变口目苔藓虫常见的代表性化石有：变壁苔藓虫（*Atactotoechus*）、小攀苔藓虫（*Batostomella*）、副光枝苔藓虫（*Paralioclema*）、窄管苔藓虫（*Stenopora*）等（图6-9）（图版Ⅷ-3—5）。

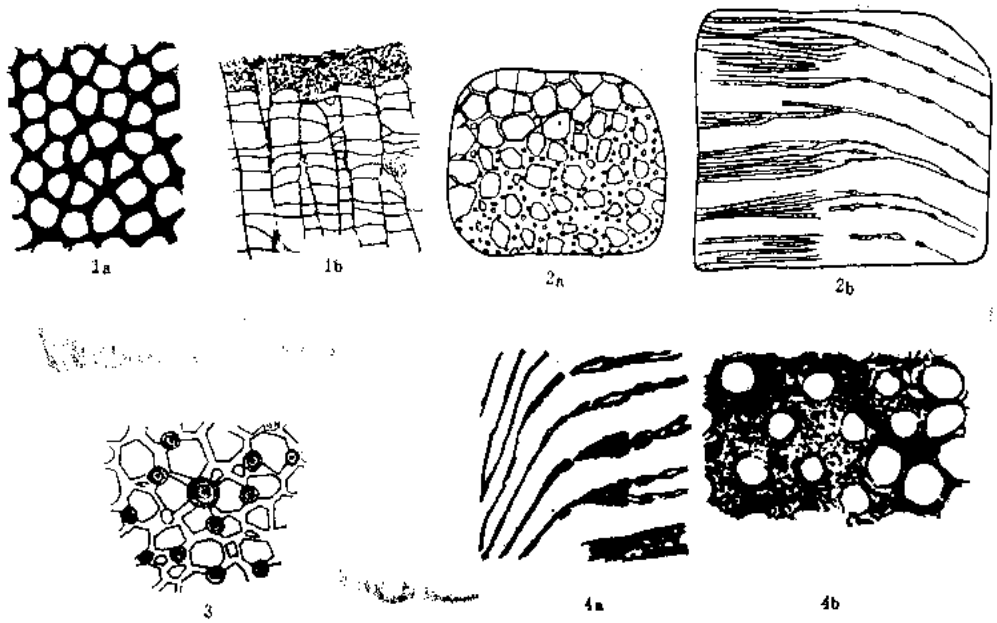


图6-9　变口目苔藓虫常见的代表性化石

1—变壁苔藓虫（*Atactotoechus*）（D_1—D_2）：1a—弦切面，1b—纵切面，×20；2—小攀苔藓虫（*Batostomella*）（O—T）：2a—弦切面，×10，2b—纵切面，×20；3—副光枝苔藓虫（*Paralioclema*）（D_2—T）：弦切面，×30；4—窄管苔藓虫（*Stenotora*）（C—P）：4a—纵切面，4b—弦切面，×14

三、环口目

1．外形与构造

环口目苔藓虫外形多见分枝状、片状、块状、盘状、漏斗状等。虫室多为管状，室口圆形或卵形，常有副虫室、再生虫室和新虫室。虫室壁薄，横板无或少，虫室间有时具泡沫组织或间隙孔。

2．矿物成分及显微结构

硬体矿物成分为低镁方解石及高镁方解石，但不含文石。虫室壁中间为较薄的微粒层，两边为稍厚的平行片状层，片体由厚1μm、长50μm的长片条组成，片体或平行生长

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

方向，或向前呈发射型式，微粒层过渡到片状层是突然的。

环口目以具有虫室和各种构造与某些层孔虫(如拉贝希层孔虫)相区别，以虫室一般<0.5mm与较大的床板珊瑚单体相区别。现代环口目以片状结构、虫室直径>100μm而与暗色隐粒结构的珊瑚藻相区别。

环口目常见的化石如角苔藓虫(*Horna*)等。

四、泡孔目

1．外形及构造

虫室呈圆管状，口孔圆形至圆卵形，一般有口盖，横板罕见，间隙孔可有可无，有时具月芽构造，常常分带，虫管间充填泡沫组织。

2．矿物成分及显微结构

硬体矿物成分为低镁方解石，虫管壁和泡沫板都由微粒结构和正纤结构组成。

泡孔目常见化石如笛苔藓虫(*Fistulipora*)(图版Ⅶ-6)等。

五、唇口目

1．外形与构造

唇口目苔藓虫群体外形呈膜状、薄层状、网格状、细枝状、盘状等。虫室呈梨形、袋形、盒状、壶状，作连续排列或叠瓦状排列，口孔生于端部或前部，小于虫室断面。

2．矿物成分及显微结构

唇口目硬体矿物成分由低镁方解石和文石组成。虫室壁外层一般是由文石组成的线纤或波浪状方解石质片状层，内层为方解石质平行片状结构，钙质层表面还有极薄的微粒壳质层。现代唇口目的矿物成分为高镁方解石或高镁方解石与文石混合组成。

唇口目苔藓虫是苔藓动物中最高级的一个目。其化石在国内虽有发现，但尚缺乏系统研究。现代种属常见者如：草苔藓虫(*Bugula*)、三胞苔藓虫(*Tricellaria*)、肋突苔藓虫(*Costazia*)等。

六、生活环境及地史分布

1．生活环境

苔藓动物大多数生活于海洋。仅少数种属生活于江、河、湖泊等淡水环境，但无钙质硬体，未能保存化石。因此保存化石者皆为海生。苔藓动物能适应各种温度和深度，现代苔藓虫从滨海区的潮汐带直到5500m的深海，从温暖海洋到两极海中都能生存，但大多数苔藓动物繁盛于盐度正常、清澈、温暖的浅海中，以深度25—60m的浅海最为适宜。

苔藓虫多营底栖固着生活，可适应不同性质的海底，也可附着于腕足类、软体动物以及海藻上生长，而且繁殖速度很快。苔藓虫是重要的造礁生物，在条件适宜的温暖浅海，可高速繁殖，分泌大量钙质形成硬体，组成生物礁。常与珊瑚、腕足、有孔虫、海百合等化石共生，广泛分布于各类沉积岩中，尤其薄层灰岩中较常发育和富集。根据苔藓类造礁作用及与其他生物共生关系分析，它分布和繁盛于热带和亚热带浅海。在早古

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

生代的热带和亚热带浅海里可形成小型礁体，在晚古生代的这种环境中可形成大型礁体，但在珊瑚和藻礁内以及有大量珊瑚化石的灰岩内，却很少发现大量的苔藓虫化石，这可能与苔藓虫能适应浑浊度略高的海水有关。

苔藓虫对海水盐度的适应性比珊瑚、棘皮动物要广些，但海生苔藓虫只有少数可适应盐度低于20‰的水域，故人们一般仍将地史时期的苔藓虫视为正常海相生物。

苔藓虫的形态能反映其生活环境(表6-1)。块状、层状或皮壳状苔藓虫群体多生活于波浪作用频繁、海水动荡较强的滨海地带，细枝状、网格状和漏斗状(螺旋状)群体多生活于水体较安静低能的静水海湾、礁体内侧或较深的海域。

表6-1 苔藓动物形态类型与环境因素的关系

形态	能量	水深	盐度
块状	高	5—20m	32‰—40‰
皮壳状	高	5—20m	32‰—40‰
层状	中—低	10—30m	32‰—40‰
透镜状	中—低	10—30m	32‰—40‰
树枝状	低	20—50m	18‰—40‰

2．地史分布

苔藓动物最早发现于晚寒武世地层中，从奥陶纪初期除唇口目以外的其他各目均开始发育，中奥陶世开始繁盛。帚口目是苔藓动物最原始的一个目，从奥陶纪延续至今，变化不多，化石很少。环口目自奥陶纪出现以后，志留—泥盆纪繁衍极快，石炭—二叠纪一度衰退，侏罗—白垩纪到达极盛，直至现代仍久盛不衰。变口目在奥陶—志留纪到达极盛，至三叠纪时期灭绝。隐口目苔藓类在石炭—二叠纪时到达极盛，至中生代初期灭绝。唇口目最早出现于中侏罗世，白垩纪中期大量发展，新生代达于全盛，现代海洋中仍非常繁盛。

我国所发现的苔藓虫化石绝大多数分布于古生代。奥陶纪、志留纪以变口目为主，泥盆纪、石炭纪以环口目、隐口目、变口目为主，二叠纪以隐口目化石最为丰富。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第七章　腕足动物门(BrachioPoda)

第一节　概　述

一、一般特征

腕足动物是具有体腔而两侧对称的单体群居的底栖无脊椎动物。软体的外部有两瓣大小不等而左右两侧对称的外壳，瓣壳较大的称为腹壳，和其相对的较小的瓣壳称背壳。因此化石岩石学中按壳体形态分类时，腕足类即属于双瓣类。壳的后端多有小孔，称为茎孔，内茎由此孔穿出，以便附着生长，两瓣壳内有外套膜包裹着软体，腹壳和背壳都具壳喙，它是腕足动物最早分泌硬体的部份。一般腹壳喙较大，喙旁边缘称后缘，相对的一边，即壳体增长的一方为前方，其边缘为前缘，两侧为侧缘(图7-1)。

腕足类大小一般为1—8cm，最大为37cm。从背壳或腹壳方向观察，腕足类形状呈圆形、长卵形、三角形、五角形、方形、椭圆形等。侧面观察，根据壳体两瓣凸凹程度不同，其外形可分为：双凸、平凸、凹凸、凸凹、双曲五种类型(图7-2)。

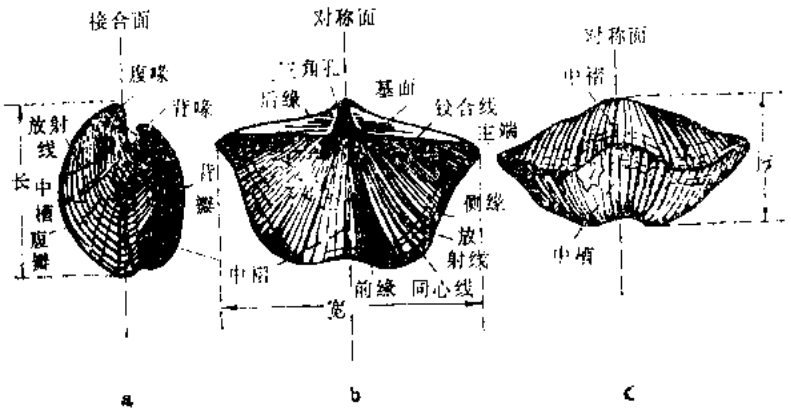


图7-1　腕足动物外形及各部份的名称

a—侧视；b—背视；c—前视，　×1

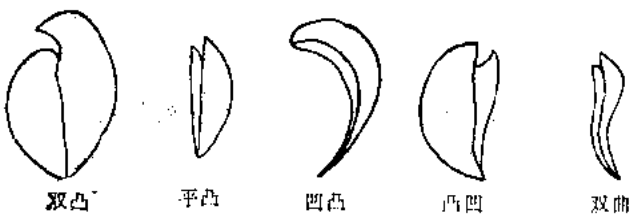


图7-2　腕足动物壳体外形(侧视)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

腕足动物的两瓣常可形成起伏的隆褶和凹槽。沿壳面的中央至前缘的隆褶称中隆或中褶，凹槽称中槽，二者之上还可有次一级的褶槽，背壳有一个中褶，腹壳则有一个中槽，也可相反。中褶和中槽两侧也可有次一级的褶、槽。由于褶、槽的出现，在与其垂直的切面上，壳壁呈波浪或起伏的形状，这是腕足类化石碎片在显微镜下很具特征的切面。

少数腕足类壳体表面平滑无饰，但大多数都具同心状或放射状壳饰。按线纹由粗到细，同心状者分别称为同心纹、同心线、同心层；放射状者分别称为放射纹、放射线、放射褶。有些腕足类壳上可生长有刺作为固着工具，多见于腹壳上，细而短的称壳刺（也称棘刺），粗而长的称壳针。腕足类死亡后，针、刺脱落，在壳面上残留为粒状或瘤状壳饰，而针、刺可单独作为化石碎片保存。

二、分类

腕足动物分类方法各异，但通常是根据铰合器官的有无和壳质成分分为无铰纲（Inarticulata）和有铰纲（Articulata）。无铰纲又名腹茎纲，两瓣之间无铰合构造，主要借肌肉相连，肌系复杂，壳质大多数为几丁磷灰质，也有钙质。有铰腕足类铰合构造发育，壳质为钙质。

第二节　腕足动物的主要类型及特征

一、有铰腕足类

1．硬体构造

有铰腕足类一般在喙部都有三角孔，经常有三角板或三角双板掩盖，喙部内部有复杂的壳内构造，如齿板、中隔板、匙形板、腕骨等。有些壳体可出现中隆和中槽，壳体表面有复杂的同心状和放射状壳饰。有的还发育壳刺。

2．矿物成分及显微结构

有铰腕足类壳体成分一般均为低镁方解石。壳层2—3层，显微结构主要为纤状、片状、粒状和柱状，常构成异类双层壳或异类多层壳，其组合形式有下列几种：

（1）微粒外层和正纤内层，仅见于正形贝、五房贝等古老的超科。

（2）微粒外层和片纤内层，片纤体水平排列，纵切面呈束发状，似片状结构，横切面呈矩形或菱形断面，见于多数有铰腕足类。

（3）外部层除有(1)、(2)两种类型的结构外，内部加有很厚的柱状层，有时可达壳体厚度的一半以上。可见于五房贝亚目、准康尼贝超科（Koninckinacea）和某些石燕贝亚目。

（4）片状层为主（图版Ⅶ-7,8）。有时保留微粒透明的外层，微粒晶体的c轴垂直壳面排列。绝大多数扭月贝目和一部份正形贝目属此类型。在褶脊贝超科（Plactambonitacea）中，组成上下层片的刀片体长轴彼此平行，而在其他类型中则是交错的。在褶脊贝的片状层之内还有垂直的纤状层，而在其他类型中，如长身贝亚目、戴贝亚目，片状层之内往往还有柱状内层。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

有铰腕足类壳层中常有疹孔和假疹孔。疹孔是由外套膜的乳头状突起或细的盲管伸入钙质层形成的细管状结构，周围的水平纤体围绕疹孔向外弯曲。假疹孔是在片状层内形成的分散的针状突起或不规则的圆锥形隆起，周围的片体遇到假疹孔时就向内弯曲(图7-3)。假疹孔常较疹孔大，二者常为亮晶或泥晶方解石充填。

腕足动物常根据上述疹孔、假疹孔等微细构造的有无和类型将壳体分为无疹壳、疹壳、假疹壳三种类型。它们是区别于其他生物以及在本门类中进行进一步分类的标志。

某些有铰腕足类，如长身贝目和戟贝目壳体表面常长有棘刺，刺的横切面呈圆形，具平行片状结构，片体绕棘刺形成同心环状，棘刺内腔常为亮晶方解石或围岩物质所充填(图版Ⅸ-1)。

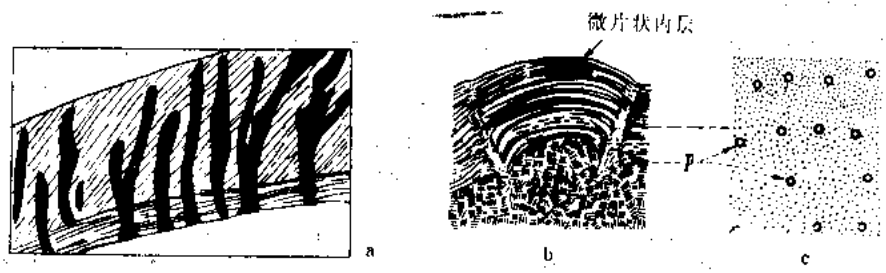


图7-3 腕足类的疹壳及假疹壳
a—疹壳；b、c—假疹壳(p—假疹孔)

腕足类与瓣鳃类、苔藓类的碎片在镜下易于混淆。但假疹孔腕足类壳体有细而规则的平行片状结构和假疹孔，无疹孔和疹孔腕足类内层有细长而倾斜的矩形柱可与它们相区别。而且瓣鳃类因其硬体成分为文石组成，交错纹片等复杂的原始结构常转化为次生晶粒结构。苔藓虫虽具平行片状结构，但褶皱剧烈，而且有虫管。层纤结构的腕足类以壳大而且厚可与介形虫区分开。腕足类棘刺以其平行片状结构区别于三叶虫的颊刺。

二、无铰腕足类

1．外形和构造

无铰腕足类硬体外壳多呈圆形或卵型，背壳多为锥形而腹壳平坦。以腹壳或短小的内茎附着于底质或其他物体上。少数属见长舌形轮廓，营洞穴生活。壳层内疹孔可有可无，壳表面有细弱的同心纹。

2．矿物成分及显微结构

壳体成份多为β几丁质与磷质，两者交互成层，具倾斜于壳面的层片状结构。钙质壳的无铰腕足类主要见于髑髅贝超科(Craniacea)。钙质矿物成分为低镁方解石。也见有文石或高镁方解石者。除最外层为壳质层外，外层呈纤状结构，以45°角倾斜于表面，内层为平行片状层。腹瓣因胶结于岩石上，其正常生长受到限制，只发育有壳质层与纤状层。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

三、生活环境与地史分布

1。生活环境

腕足类为海生底栖固着生物，它要求特定的水深、盐度和底质，是很好的指相化石。

现代腕足类对温度和深度的适应能力较强，无论从热带至寒带、从滨海到深海都有分布，但主要生活在浅海陆棚区。一般说无铰腕足类大都生活在潮汐带和水深小于30m的滨浅海区；有铰腕足类大都生活于80—200m的温带和热带海底，但在南北极海域亦有发现。

现代的腕足类要求正常盐度，即35‰最适宜于腕足类生活，当盐度<30‰，腕足类很难生存，只有海豆芽能经受着半咸水和淡水的短期注入，波罗的海和与其类似盐度的其他北欧海域无腕足类的存在，其原因就在于此。

多数腕足类喜欢清洁、富氧、无强力水流冲刷的宁静海水，少数属种可经受着巨大的浑浊度。现代腕足类经常与珊瑚、蠕虫、藻类、软体类、棘皮类等共生。

现代腕足类在砂底、泥底、岩底及碎砾底质上都有分布，穴居的舌形贝(海豆芽)喜欢砂质底质，固着生长者喜欢岩底和有碎砾、碎壳的海底。其固着方式多种多样，有的以内茎固着；有的以腹瓣自由躺卧，如扭月贝的某些种属；有的以后缘棘刺锚在海底，如戟贝；有的以腹瓣的刺支撑，如长身贝的一些属；有的以根状壳刺固着，如前李希霍芬贝；有的以基面楔入泥砂中，如三分贝和石燕贝类的某些种属；有的则以腹瓣粘结在硬物体上，如焦叶贝、髑髅贝；有些腕足类固着于藻类等漂浮物体上营漂浮生活。在黑色笔石页岩中以及富H_2S而缺乏底栖生物的环境中发现有腕足类化石，可能就是生活在阳光充足的水体表层营假漂浮生活的腕足类死亡埋藏于还原环境所致。

根据将今论古的原则，推测各地史时期的腕足类大多数生活于阳光充足、氧气充分、盐度正常、宁静而清洁、宜于固着的温带和热带浅海。

腕足类化石发现于各类沉积岩中，但以灰岩、泥灰岩、页岩、粉砂岩中较多而且保存较好。古生代的腕足类常出现于礁相中，常与珊瑚、层孔虫、苔藓虫、海绵、棘类等浅海生物共生，说明古生代的腕足类大都生活于阳光充足的浅海。中生代以后发现它们与某些深水生物共生，说明随着时间的推移，腕足类由阳光充足的浅海向弱光的半深海甚至无光的深海迁移。腕足类与环境因素的关系概括于表7-1。

表7-1 腕足类与环境因素的关系

类型		水深	盐度	浊度
无铰腕足类		滨海—深海	偏淡—正常	中—低
有铰腕足类	厚壳类	浅海陆棚	正常海水	低
	薄壳类	深水	正常海水	低

2。地史分布

地史上最早出现的腕足类为无铰纲，它始于晚震旦世，寒武纪占优势，奥陶纪是腕足类的第一个鼎盛时期，也是无铰腕足类在地史上最繁盛的时期，志留纪时期无铰腕足类开始衰落，但其中的舌形贝、乳孔贝、髑髅贝等一些目一直延续到现在。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

有铰纲开始出现于早寒武世，奥陶纪时期占绝对优势，且以垂直纤状内层的无疹壳的正形贝、五房贝类为主。泥盆纪是腕足类的第二个繁盛时期，具有微粒外层和水平纤状内层的小咀贝、穿孔贝、无洞贝、石燕贝目大量出现。石炭纪、二叠纪时，具有片状层的扭月贝、长身贝目等大量出现。中生代逐渐衰落，其中的小咀贝、穿孔贝、鞘壳贝目一直延续至今。

一般认为腕足类的演化趋势，由前寒武纪腕足动物的祖先——“原型”演化到无铰纲，然后再演化至有铰纲；也有人认为现今分类的各目、科可能是非同源的。壳质成分的演化从几丁磷灰质壳演化为钙质壳。原始类型一般为无疹壳，疹壳和假疹壳是后来出现的。低级腕足类的钙质壳内层为片状层，较高级的腕足类甚至可出现棱柱状的第三层。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第八章　软体动物门(Mollusca)

软体动物是起源于原始原口动物的三胚层动物。它是无脊椎动物中数目众多的一个门，已知化石种约12万个，约占动物物种总数的11%。最常见的例子如蚶、海扇、珠蚌等。软体动物的基本特征是：身体柔软而不分节，但常可分为头、足、躯干和外套膜四部份；除大多数成年期腹足类外，躯体具两侧对称；肌肉足发育，大多数以鳃呼吸；一般具发育的壳，由外套膜富含的腺细胞所分泌，成分为钙质。

软体动物按硬壳及软体特征共分为九个纲，其中钙质骨骼最发育、最具有意义的有五个纲，即：瓣鳃纲(Lamellibranchiata)、腹足纲(Gastropoda)、头足纲(Cephalopoda)、竹节石纲(Tentaculita)、软舌螺纲(Hyolitha)。下面分别加以介绍。

第一节　瓣　鳃　纲

一、一般特征

瓣鳃纲绝大多数为两侧对称，有左右两片外套膜和分泌双瓣的壳（图8-1），故又称双壳纲(Bivalvia)。外套膜之间的空腔称外套腔，腔内有呈瓣片状司呼吸功能的鳃，故而得名。足位于身体前腹方，形如斧状，故又称斧足纲(Pelecypoda)。足伸出两壳瓣之间，用以挖掘泥沙、移动身体或钻孔等。有些瓣鳃类在足后伸出一簇丝状的足丝，用以粘着于外界物体上。壳背缘以韧带相连，作开壳用，壳内有闭肌，可以收缩而闭壳，两瓣以齿和齿窝铰合。后侧有入水管和出水管，水流从入水管进入，带入食物和氧气，新陈代谢的废物随水流沿出水管排出。

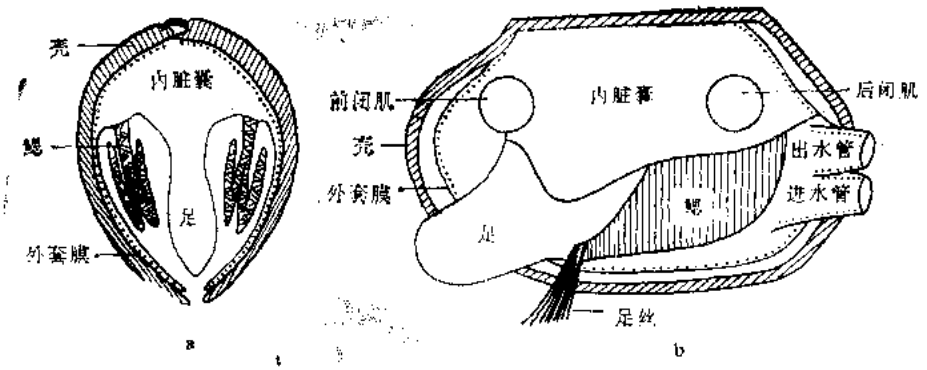


图8-1　瓣鳃纲解剖
a—横剖面；b—纵剖面

二、外形及构造

瓣鳃类的两个瓣壳大小一致而且对称，每个瓣壳本身前后一般不对称。有些种类

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

由于固着、漂浮、偃卧生活的长期适应，造成两瓣不等。瓣鳃类常呈扇形、卵形。圆形、椭圆形、三角形等（图8-2）。在通过壳喙并垂直壳体的纵切面中，显示两壳相同，当铰合部位有凹槽时，该切面呈“心”形；在横切面中为对称的弧形，边缘较薄，通过铰合区时，厚度增大；平行壳面的弦切面为椭圆形。碎片在薄片中常呈弯曲的条状、新月形等。

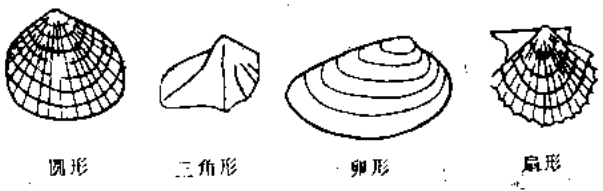


图8-2 瓣鳃类常见的外形

壳的表面有壳饰，与腕足类相类似，除少数光滑者外，通常分为同心和放射两类，按粗细分为线、脊、褶。有些种属同时具两类壳饰，相交成网格状。有的还有生长瘤、节或刺。

壳的内部外套膜附着于壳内面上所留下的痕迹称闭肌痕。大部份瓣鳃类有前后两个闭肌痕，称之为双柱类。二者大小相同者称同柱类，相异者称异柱类。有的一个退化，只有一个大肌痕位于壳中心者称之为单柱类。在两瓣的铰缘之下，有司铰合功能的齿系，由齿和齿窝组成，通常位于沿铰缘分布的铰板上，有主齿和侧齿之分。前者位于喙下，较粗，与铰缘呈较大的角度相交；后者远离喙部，多呈片状，与铰缘近于平行。根据齿和齿窝排列方式，可分为五种齿系类型：（1）带齿型，有一系列的齿和齿窝，形如带状；（2）裂齿型，主齿不超过两个，左瓣中央主齿分叉；（3）异齿型，由1—3个主齿和一些侧齿组成；（4）弱齿型，齿不发育，终身固着生长；（5）贫齿型，齿全部消失或只剩下一个弱齿，营钻孔生活。

三、矿物成分及显微结构

1. 矿物成分

瓣鳃类壳体矿物成分多为文石，也见有方解石，或二者互层。因化石中文石壳的转化作用，多转变为方解石质壳。

2. 显微结构

瓣鳃类的钙质壳一般分为三层。外壳层为纤状或柱状层，由外套膜边缘背部分泌，沿壳面生长，分布于整个壳，包括外缘。中壳层以交错纹片为主，亦有珍珠和片状结构，分布达外套线外侧。内壳层为复杂的交错纹片、珍珠、柱状或玻纤结构，一般仅分布于外套线内。肌泌层仅分布于肌痕区，一般为柱状结构或交错纹片结构。戴永定曾根据奥伯林(Oberling，1964)等人的分类，将瓣鳃类壳层结构组合归并为四类：（1）线纤或线层纤外层加珍珠内层；（2）柱状外层加珍珠内层；（3）片状层，包括单纯片状层、柱状外层加片状内层、片状外层加交错纹片外层；（4）交错纹片层，包括纤状外层加交错纹片内层、交错纹片外层加复杂交错纹片或玻纤内层。

瓣鳃类硬体显微结构尽管十分复杂而且不同类型常有不同的壳层结构组合，但由于它们的硬体矿物成分多为文石组成，经成岩转化后，化石中所保留的多为低镁方解石组成的次生晶粒结构(图版Ⅸ-5)。

瓣鳃类有不同的分类方法。通常是根据齿系并结合肌痕、壳质等特征进一步分为七个目。薄片观察中瓣鳃类化石碎片多是某一个方向的切面，无法观察到整体和齿系，其复

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

杂的原始结构也因文石向方解石的转化而遭破坏，因此大多数情况下只能确定其大类，详细鉴定其类型需采用古生物学方法。有鉴于此，本书对瓣鳃类的目、科、属等不再多作介绍。

瓣鳃类以其双壳都是单向弯曲而且厚度变化均匀可与其他软体类相区别。其碎片往往以水平排列的线层纤结构(外层)或显弯曲的不规则交错纹片结构等特征来鉴别。小型瓣鳃类与介形虫的区别在于前者为多层而复杂的文石质壳层结构或次生晶粒结构，后者多为玻纤或层纤结构。具次生晶粒结构的瓣鳃类碎片以其晶粒较粗、有机质缺乏、边缘无小孔、不能卷曲等特征可与叶状藻体相区别。瓣鳃类壳体碎片与腕足类的区别见表8-1。

表8-1 瓣鳃类与腕足类硬体的区别

特征	瓣鳃类	腕足类
壳体形态	两瓣壳大小一般相等，分左、右两瓣，每个瓣壳本身不对称。	两个瓣壳大小不等，分腹、背两瓣，每个瓣壳本身两侧对称。
矿物成分	壳体成分多全为文石组成，亦有为方解石组成者，化石中前者常转化为方解石	有铰腕足类为低镁方解石，无铰腕足类多为几丁质和磷质
显微结构	主壳层为交错纹片、复杂交错纹片和珍珠结构，在化石中文石质壳经转化，原始结构被破坏而形成次生晶粒结构	主壳层平行片状结构发育，化石中原始结构得以保存。
构造	不具假疹孔和疹孔	具假疹孔和疹孔

四、生活环境及地史分布

1。生活环境

瓣鳃类是适应性极强、生活领域极广的一类无脊椎动物。由赤道至两极，由潮间带至5800m的深海，由正常海洋至半咸水的泻湖、淡水湖泊沼泽，甚至河流、池塘都有分布。但是在不同环境中出现的类型各不相同，如珍珠贝和蚌螺仅繁殖于热带和亚热带盐度正常的海中，而贻贝仅出现于温带，僧帽牡蛎出现于不同纬度，乌蛤、牡蛎对低盐度的海水有极强的适应能力，而蚌超科则全部产于淡水，棘刺牡蛎蛤生活于高潮线附近，长蚌螺、珍珠贝生活于低潮线附近，栉孔扇贝、魁蚶、栉江瑶等生活于数米至数十米深度，双带蛤科的深海团结蛤竟在5800m的深海里发现。

瓣鳃类的生活方式也十分复杂多样，通常见有正常底栖、丝足附着和穴居等方式。有的潜入泥、砂中生活；有的在海底爬行；有的营固着生活，附着于其他物体或凿穴居住；亦有营游泳生活者。

2。地史分布

瓣鳃类最早出现于寒武纪并一直延续至今，而且是越来越繁盛。它在地史上的分布与腕足类相比有一个很有意思的现象，即二者有相互竞争和互为消长的关系，而以瓣鳃类赢得彻底胜利而告终。地史上，当寒武—奥陶纪腕足类处于繁盛时期而占据着浅海的有利生活环境时，瓣鳃类的低级代表在寒武纪才开始出现，奥陶纪、志留纪曾迅速繁

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

殖，但却被排挤在较深的浅海或内海环境。泥盆纪时瓣鳃类迅速繁盛起来，取得了竞争的第一次胜利，开始占领浅海并向淡水进军。到了中生代瓣鳃类击败了竞争对手，取代腕足类而到达极盛，在海水和淡水两个领域上升为主要门类，海生厚壳蛤类(如三角蛤、厚壳蛤)可形成生物礁或礁相灰岩，淡水中蚌、蜆最为繁盛，而腕足类则由此一蹶不振，其中相当一部份被排挤至深海环境。从始新世至现代，瓣鳃类赢得了竞争的彻底胜利，达到了全盛时期，种属和数量也达到了顶峰，在浅海和淡水都居霸主地位，而腕足类则逐渐走上了日趋灭绝的道路。

第二节　腹　足　纲

一、一般特征

腹足纲是现代软体动物中最大的一个纲，现代约有8.8万种，最常见的如蜗牛、田螺、海螺等。

腹足类的足是扁平的爬行器官，位于身体的腹面，故而得名。由于营移动底栖生活，故其头部及口、触角、眼等器官发达。口腔中有齿舌，为几丁质，表面生有许多排横列小齿司咀嚼功能。其背部有外套膜分泌的外壳，称螺壳。为适应环境，在演化过程中，其软体和外壳发生扭转卷曲，结果形成扭转的内脏囊和螺旋状的外壳。

二、外形和构造

1．外形

腹足类螺壳的大小一般为5—40mm，最小为1mm，最大达200mm。螺壳外形呈螺旋、平旋、盘旋、锥形、塔形等(图8-3)。

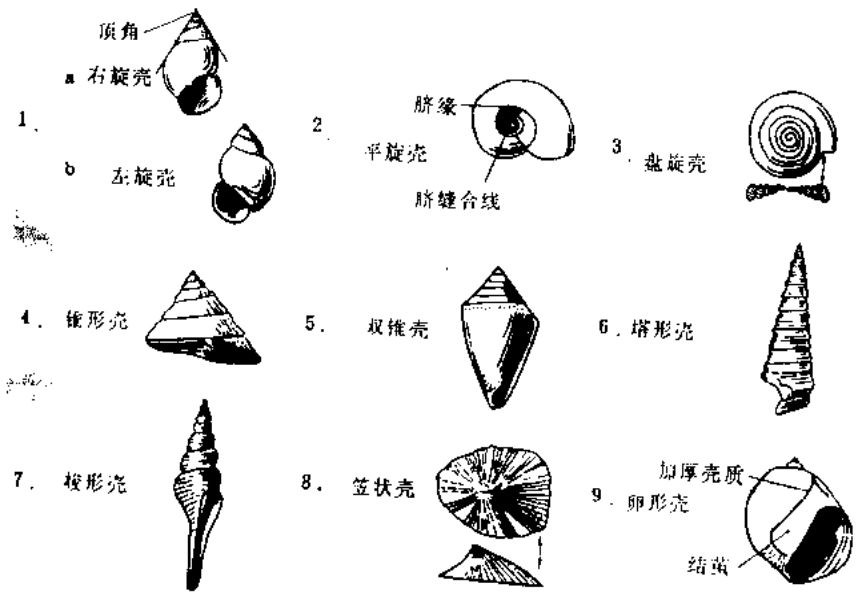


图8-3　腹足纲的螺壳外形

1—螺旋壳(a、右旋，b、左旋)；2—平旋壳；3—盘旋壳；4—锥形壳；5—双锥壳；6—塔形壳；7—梭形壳；8—笠状壳；9—卵形壳

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2．构造

腹足类的螺壳是一个不分隔的螺旋状空壳，为动物内脏盘曲之所，由许多螺环组成。螺壳沿轴旋360°即构成一螺环。螺壳顶端为胚胎期分泌的壳，叫胚壳，螺壳最终一环为体螺环，是生活容纳头部和足之处。体螺环有壳口，可有口盖或无口盖。除体螺环外，包括胚壳在内的所有螺环称螺塔，相邻螺环的外接触线叫缝合线。螺壳表面亦发育有横穿螺环而与缝合线相交的轴向纹饰及与螺环平行的旋向纹饰，二者相交构成网状饰，并具有刺、肋和瘤等。螺壳旋转松紧不同，松旋的壳内部互不接触，中心形成一个漏斗形空间称为脐，紧旋者中间不留空间，其内壁相互接触，形成实心的壳轴。

在薄片中，不同切面方位其形状各有不同。通过旋轴的轴切面一般显示逐渐增大的成对空洞，锥旋壳呈现为小空洞，交叉成对地叠于大空洞之上，平旋壳呈现为较大的成对空洞包括较小的成对空洞。在垂直于旋轴的切面上，一般呈现环形空洞，当有中轴时，有倾斜的内壁深入中间与中轴相连接，若显示不成对的单列空洞，可能代表不通过中轴的侧纵切面。体螺环的旋切面呈现为不封闭的环状，螺壳内的空间一般多为亮晶方解石充填，体螺环则常被围岩物质充填。

三、矿物成分和显微结构

1．矿物成分

腹足类大多数壳体由文石组成，少数由文石和低镁方解石组成，但和瓣鳃类不同，文石层不夹于两方解石层之间。壳体全由方解石组成者尚未见到。原始文石壳一般在成岩过程中逐渐转变为低镁方解石而呈现次生晶粒结构。

腹足类是壳层结构最繁多的一个纲，壳层多达5层以上，各壳层可根据相邻层的矿物成分、显微结构或结构单位排列方向不同而加以区分。壳层在放射方向上加厚，在同心方向上也同时扩大，壳层在外边加厚，尤其在旋棱处更甚，而在近中轴处变薄，甚至缺失若干层。具有单层壳者仅有浮游的异足类、翼足类和神螺科等少数科属。

2．显微结构

腹足类常见交错纹片结构(图版Ⅸ-2)。次为珍珠、玻纤、柱状结构，还有少量纤状、平行片状、倾斜片状、复杂交错纹片结构等。其中交错纹片、珍珠、玻纤、线层纤结构多为文石组成，成岩后都已转变为低镁方解石而成为次生晶粒结构(图版Ⅸ3，4)；柱状、片状、线纤结构多为方解石组成。交错纹片结构在现代腹足类中最发育，这种结构可形成螺壳的一部份或全部、一层或数层，其相邻两层的纹层构成一定的交角，一层近于垂直、一层近于水平。珍珠结构多出现于螺壳的内层或中层。玻纤结构主要出现于异足类和翼足类，多构成它们的整个壳层，为这两类生物的重要特征。柱状结构的柱细而不规则，构成螺壳的外层以及各种突起和棘。平行和倾斜片状结构仅出现于少数种属，如神螺等。纤状结构也很少见，仅见于螺壳的外层。螺壳的口盖一般由文石或低镁方解石组成，呈线层纤结构，有些由壳质加磷质组成，齿舌由α几丁质组成。

腹足类与瓣鳃类化石碎片的区别在于前者弯曲度高、厚度变化大，发育多层交错纹片结构，相邻两纹层中有近于直立的纹层，珍珠层可夹于其他两种结构间，或与交错纹片共生于同一壳层中。个体较小的腹足类化石碎片与有孔虫的区别在于前者多呈次生晶粒结构，无隔壁，在垂直旋轴切面上可见中轴；后者一般为胶粒、微粒和正纤结构，一般

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

有隔壁。

四、生活环境及地史分布

1．生活环境

腹足类生活环境极为广泛，从陆地到海洋，从高山到平原，从咸水到淡水，从河湖、沼泽到池塘，从海洋潮汐带至深海都有分布。但它们的大多数生活于浅海地区(如宝贝、凤螺、冠螺等)；大于100m水深时种属和数量减少，如在300—500m水深可具有马蹄螺、盘螺等；分布于高潮带者营两栖生活，如滨螺、笠贝等。生活于热带海洋中的类型一般个体大、色泽美丽，如蜘蛛贝、轮螺、马蹄螺、唐冠螺等。

腹足类以底栖为主，在硬的或软的底质上缓慢移动；也有的附着于岩石上，如蛇螺科；有的寄生于其他物体上；有些种属能凿穴，如菊花螺。大多数分布于岩岸(如香螺)，也有分布于砂质底质(如竖琴螺)，有的生活于泥滩(如泥螺)。但有些腹足类如翼足类和海蝴牛等营漂浮生活。

在泻湖、河口等半咸水环境生活的腹足类，一般体小、壳薄、种类单调而数量众多。在河湖池沼的淡水中，腹足类也较为繁盛。生活能力强者在两极都能找到。

2．地史分布

腹足类最早出现于晚震旦世，早寒武世初大量出现，一直延续至今。在地史上共有四个繁盛时期：奥陶纪、石炭纪、侏罗—白垩纪、第三纪至现代。总的趋势是时代越新越繁盛，现代是腹足类的全盛时期。

第三节　头　足　纲

一、一般特征和分类

头足类是软体动物中发育最完善最高级的一个纲，如鹦鹉螺、菊石和现代章鱼、乌贼等，全为海生肉食性动物。头位于前方，中央有口，两侧具发达的眼，触腕的一部份环列于口的周围，用以捕食，另一部份则靠近头部的腹侧构成排水漏斗，以适应游泳生活。身体为两侧对称，具较发达的神经系统、循环系统和感觉器官，有四个或两个鳃，有内壳或外壳。

头足类常以壳的位置分为外壳亚纲(Ectocochlia)和内壳亚纲(Endocochlia)。前者为较原始的种类，具有四个鳃，故又称“四鳃亚纲”，包括鹦鹉螺超目(Nautiloidea)、杆石超目(Bactritoidia)、菊石超目(Ammonoidia)；后者为较进化的种类，具有两个鳃，又称“两鳃亚纲”，它包括了除鹦鹉螺以外的所有现存海生头足类。

二、外形及构造

1．外形

头足类壳体形状多样，有直壳、弯壳、半旋壳、旋壳，以直壳和旋壳居多。旋壳又有平旋、锥旋和紧旋、松旋之分，以平旋、紧旋居多。平旋又有包旋和非包旋之分，以包旋居多(图8-4)。横断面呈圆形、卵形或矩形。大小从数毫米至十米，大多为2—

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

10cm。在直壳和弯壳中，口为前方、壳尖为后方，生长线向后弯曲或体管靠近一侧为腹方。在旋壳中，口为前方，脐为后方，外侧为腹时，内侧为背方。



图8-4　头足类外形

2．构造

头足类壳体内部有许多隔壁，并将壳体分隔为许多房室，在壳尖部份发育最早的一个房室称为“胎壳”，在化石中很少保存，壳体最前端具壳口的一个最大的房室为软体栖居之所，称之为住室，住室的口孔可由双口盖或单口盖封闭。住室至胎壳之间一系列充填气体的房室称为气室(图8-5)。壳体中有一条贯通胎壳至住室的灰质管道称体管，多位于中央或腹方，由隔壁颈和连接环组成。大多数头足类的隔壁颈为隔壁上沿隔壁孔的周围向后延伸出的领状小管，而多数菊石类外部旋环上隔壁颈向前延伸。连接环为两隔壁间连接隔壁颈的环状小管。体管的形状一般为细长的圆柱形，也有呈串珠状者。在鹦鹉螺超目中，由于隔壁颈的弯曲程度和连接环的形状不同，体管的类型亦有不同(图8-6)，它是鹦鹉螺超目分类的依据。气室和体管内常有原生和次生钙质沉淀物，其厚度有时比外壁大，体管内有时还发育内锥、环珠、辐射柱等，为体管形成后的沉淀物。

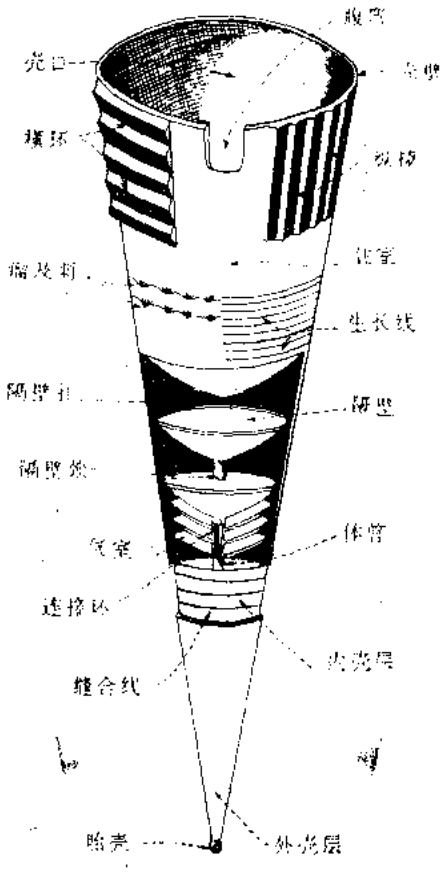


图8-5　鹦鹉螺类直角石壳体构造

缝合线是隔壁的边缘与壳壁内面相接触的线，仅有弦切面中见到。鹦鹉螺超目的缝合线较为简单，菊石超目的缝合线较为复杂，具一定的演化规律，是进一步分类的依据。

头足类内壳亚纲常见的化石代表为箭石，其内壳由直或稍弯的闭锥和包裹它的鞘以及前甲组成。鞘呈圆锥状或纺锤状，通常最易保存为化石。闭锥呈锥形，它相当于鹦鹉螺和菊石的外壳，有许多被隔壁分割的气室，近腹部有体管，有时也能保存为化石。前甲是闭锥背部长而宽阔的舌状突起，性脆易碎，难以保存为化石。内壳亚纲的乌贼和章鱼的内壳由椭圆形平板状前甲组成，闭锥和鞘已退化。

头足类为适应游泳生活，多形成极薄的壳壁，在直径为1.5mm的旋壳内，外壁厚仅0.01mm，而在长数米的直壳中，外壁也仅厚约10mm。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

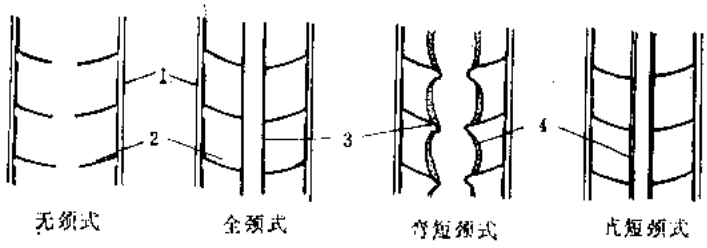


图8-6 鹦鹉螺类体管类型

1—壳壁；2—隔壁；3—隔壁颈；4—连接环

三、矿物成分及显微结构

1．矿物成分

头足类壳体为文石组成，少数种属如箭石的鞘、菊石双口盖、某些鹦鹉螺气室的沉淀物由方解石组成。成岩后头足类化石的文石壳都已转变为粒状低镁方解石。

2．显微结构

头足类表壳层为壳质，钙质层为文石质，一般为三层。现代鹦鹉螺外层为线层纤结构，中层为珍珠结构，且构成壳层的大部份厚度，内层为柱状结构。隔壁的壳层结构基本上与外壳相同，只是纤状层厚度向体管迅速减小，至隔壁颈基部缺失。古代鹦鹉螺超目原始结构若偶有保存，基本上与现代鹦鹉螺相似。

菊石类的壳壁也和鹦鹉螺一样，钙壳仍由三层组成，与现代鹦鹉螺的区别在于外部纤状层是垂直排列，而不是放射状排列，因而常呈现层纤结构，胎壳早期壳壁由微粒层和不完整的外纤状层组成。胎隔壁和早期隔壁只有外纤状层或细柱状层，后期壳壁和隔壁才出现珍珠层。

内壳亚纲箭石目的闭锥外壳层和隔壁由珍珠层组成，上下有薄的晶粒层，可能由文石质柱状层或纤状层变来，隔壁颈由外部的珍珠层和内部的柱状层组成。箭石的鞘由垂直壳壁的纤维状方解石组成，横切面为十字消光。

由于头足类壳体成分多为文石组成，经成岩转化，原始结构遭受破坏，因此头足类化石中常见的为低镁方解石组成的次生晶粒结构(图版Ⅸ-7)。

头足类以其均匀排列的隔壁以及有体管和气室沉淀物可与其他完整的软体动物相区别。其碎片以壳壁和隔壁厚度薄而均匀、珍珠层发育、无交错纹片和片状结构可与其他软体动物的碎片相区别。旋卷的头足类化石以其个体大、具次生晶粒结构可与有孔虫类分开。具次生晶粒结构的头足类化石碎片可用壳壁碎片厚度薄而均匀而与晶粒结构的腹足类、龙介类碎片相区别。

四、生活环境与地史分布

1．生活环境

头足类生活于温暖的海洋环境，是典型的海相指相化石，营游泳或底栖爬行生活。古生代者壳直壁厚，可能是在海底或近海底不远的地方游泳，有时栖息海底。中生代的菊石壳壁薄而轻，有隔壁密封的气室，适于游泳生活，现代的内壳亚纲则全部营游泳生

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

活。由于壳体形态构造的差异，其游泳能力各不相同(图8-7)。

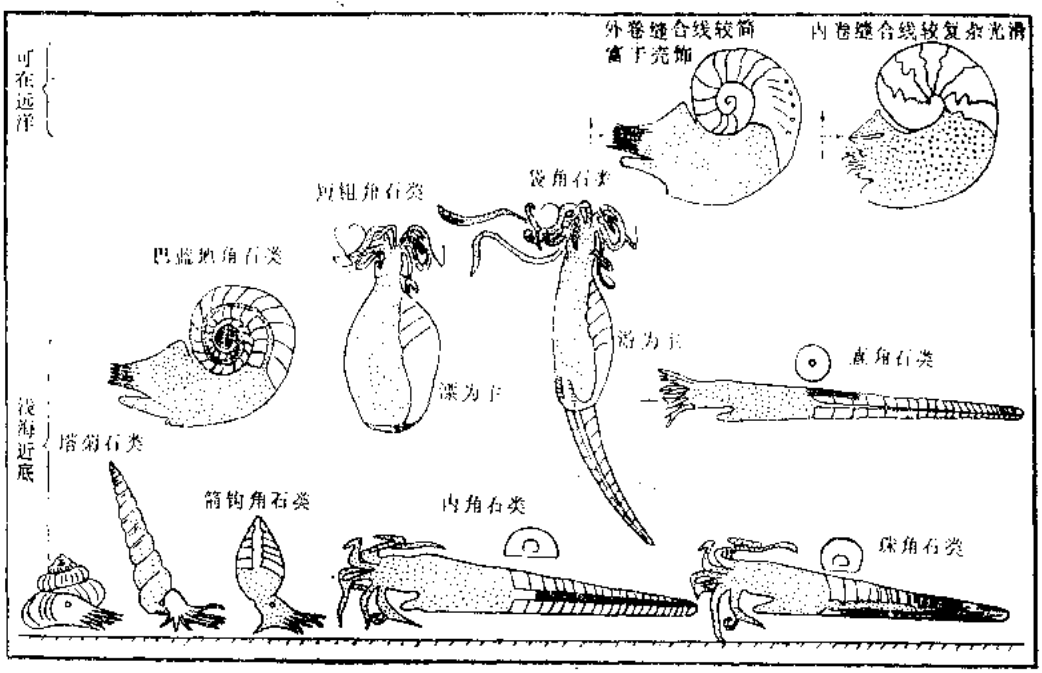


图8-7　头足类生态类型分布示意图

头足类生活于较广的深度范围，如鹦鹉螺生活于数百米深的海底，手乌贼生活于4600m的深海里，章鱼生活于近海，甚至可在潮间带活动。

头足类一般具有广泛的地理分布，其原因是它们大多数营游泳或漂浮生活，可漂浮很远；另一方面是它们死亡后软体腐烂脱落，充满气体的外壳漂浮于水中被海流搬运至很远处。如现代鹦鹉螺分布于马来半岛附近，其死亡后的空壳漂洋过海，经印度洋直达马达加斯加岛东岸。

2．地史分布

头足类最早出现的化石为鹦鹉螺超目，见于早寒武世，多是一些形体小而直壳的类型。奥陶纪时迅速发展，趋于极盛，志留—泥盆纪开始衰退，三叠纪末直壳鹦鹉类绝迹，且卷旋的亦少，延续至今者只有一个鹦鹉螺属。

菊石超目由鹦鹉螺超目演化而来，最早出现于泥盆纪初期，中生代趋于极盛，白垩纪末因海洋中高级动物大量出现，菊石类即行绝迹。

内壳亚纲由外壳亚纲演化而来，始于晚古生代，中生代开始大量出现，如箭石就是侏罗—白垩纪常见的化石，第三纪至今更加繁盛，除鹦鹉螺一属外，现代海生头足类全为内壳亚纲，如乌贼、章鱼等。

第四节　竹节石纲及软舌螺纲

竹节石纲和软舌螺纲都是已灭绝的海生无脊椎动物，其分类位置至今尚未确定，通常认为它们属于软体动物门，也有人将二者归为一类称为“锥壳纲”(Coniconchia)，

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

也有人主张将竹节石划归头足纲，将软舌螺归入翼足类。

一、竹节石纲

1．外形及构造

竹节石壳呈细长的圆锥形，辐射对称，一般长1—10mm，最长可达80mm，直或微弯曲，横断面呈圆形。

壳的始端为初房，呈尖锥形、钝锥形或小球状。有的顶端发育一个细长的顶刺。壳的顶角一般2—10°左右，少数达25°。壳壁厚或薄，壳面大多具有平行于壳口和间隔不等的各种脊状横环，其形状有浑圆、角状或波状，两侧对称或不对称。壳面还发育有与横环垂直相交的纵肋和较细的纵纹。有的壳面光滑或呈环节形。有的近壳顶部份的幼年期壳体内部被横隔壁分成数个房室，内部充有气体，不具体管和口盖(图8-8)。

根据竹节石的初房形态、壳面纹饰和壳壁构造的不同可进一步划分为三个目：竹节石目(Tentaculitida)、塔节石目(Nowakida)、光壳节石目(Styliolinida)。各目的主要特征见表8-2，化石代表见图8-9。

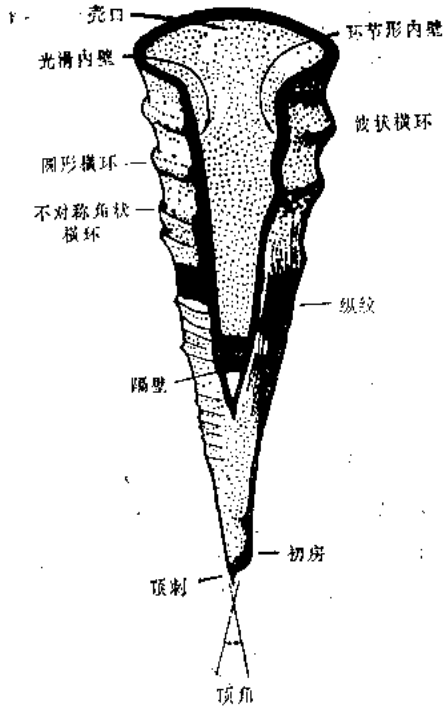


图8-8　竹节石构造示意图

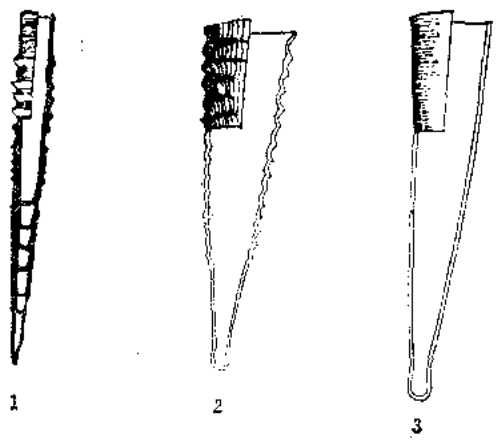


图8-9　竹节石纲各目的化石代表

1—竹节石(*Tentaculites*)，放大，S—D；
2—塔节石(*Nowakia*)，放大，D；
3—光壳节石(*Styliolina*)，放大，S—D

2．矿物成分及显微结构

壳壁矿物成分为低镁方解石，竹节石的壳壁偶见文石。

壳壁的显微结构主要为玻纤和平行片状结构(图版Ⅸ-8，Ⅹ-1，2)。竹节石壳层由薄的外层和厚的内层组成，内层为平行片状结构，片体起伏，与外形一致，上下叠片消光一致，外层为玻纤结构，但不易保存。有放射状孔穿过壳层，孔遇片时则使片向外弯曲。光壳节石为玻纤结构，层状构造，横切面呈十字消光，纵切面呈平行消光。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

表8-2 竹节石纲各目的主要特征

各目名称	外形特征	初房形状	壳面纹饰	壳壁构造	时 代
竹节石目 (Tentaculifida)	辐射对称的长锥形，长1—10mm，直或微弯曲，横断面圆形，直径0.5—3mm。	尖锥状	横环发育	壁厚、壳内壁光滑或呈环节形	O—P
塔节石目 (Nowakida)	直壳锥形或亚桶形	球形或滴珠形	横环、纵肋发育	壳壁厚—薄，壳内壁光滑或呈环节形	D
光壳节石目 (Styliolinida)	壳锥形，长1—10mm，直径1mm左右	锥形，滴珠形	光滑或具纵肋，无横纹。	壳壁薄，壳内壁光滑，无隔壁和穿孔。	S—D

3．生活环境及地史分布

竹节石类为海相生物，多营漂浮生活，亦有底栖、固着和钻孔等方式，常与介形虫、苔藓、菊石类共生。常出现于各种灰岩、泥灰岩以及硅质岩中。在泻湖环境中亦可见到。

竹节石类始见于奥陶纪，志留纪增多，泥盆纪时最盛，至泥盆纪末期即行灭绝。

二、软舌螺纲

1．外形及构造

软舌螺壳微弯曲，呈两侧对称的长圆锥状、角锥状、纺锤状、塔状等，极少弯锥状。长1—50mm，横断面呈圆形、椭圆形、三角形、方形、五角形等，直径5mm左右。壳的顶端为初房，呈球形、圆锥形或滴珠形。初房之后的始部壳内有些具隔壁，划分出许多小的气室。壳的最前端为一大的住室，整个壳内无隔壁孔及体管。壳口具口盖，形状与壳口完全一致，口盖表面纹饰为圆心状生长线。壳面大多见生长线，有些类型有纵向及横向的肋、脊、沟，有的类型壳面光滑，壳内壁光滑或有微弱的纹饰(图8-10)。在少数情况下，在口缘与口盖之间还保存一对针形弯曲的附肢(图8-11)。

2．矿物成分及显微结构

软舌螺常为钙质壳，矿物成分由文石组成。软舌螺化石的壳壁已转化为低镁方解石。此外尚有磷质壳。

软舌螺钙质壳壁为交错纹片结构。二叠纪保存完好的软舌螺，外层的纹层近于直立，内层的纹层近于水平。化石常因文石转化为低镁方解石而显次生晶粒结构。

3．生活环境及地史分布

软舌螺全为海生，营底栖固着生活，化石常与古杯、三叶虫、腕足类及原始类型的腹足类共生。在海相沉积中，除白云岩和礁灰岩外都能找到。

软舌螺最早出现于晚震旦世，寒武纪到达繁盛时期，数量多而分布广，是下寒武统

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

重要的分带化石，到古生代逐渐衰落，晚二叠世全部灭绝。我国西南地区寒武系中软舌螺化石丰富，是划分寒武系下限的重要化石类型。

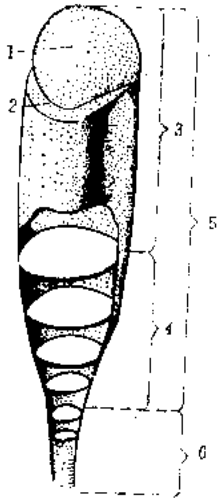


图8-10　软舌螺的形态与构造

1—口盖；2—口缘；3—住室；
4—气室及气室隔壁；5—成年期；6—幼年期

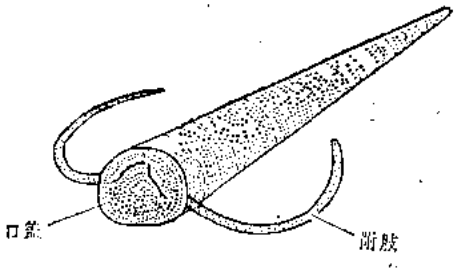


图8-11　软舌螺口部的附肢

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第九章　环形动物门(Annelida)

一、概述

1．一般特征

环形动物门又称环节动物门，为蠕虫动物的一种。蠕虫动物包括扁形、线形、纽形、环形动物四个门。它们都属于两侧对称的三胚层动物，有的分节，并具雏形的附肢——疣足，大多数有体腔，除环形动物外，绝大多数无硬体，只有遗迹化石。环形动物门是蠕虫动物中最高级最复杂的一个门。身体细长，并由许多形状、结构大体相同的体节组成，体节上有疣足(图9-1，a)。疣足不分节，其上具刚毛，司运动功能，为附肢的雏形。内脏器官发达，位于真体腔内。其软体只包有一层角质膜。只有多毛纲分泌栖管，其软体与栖管脱离。

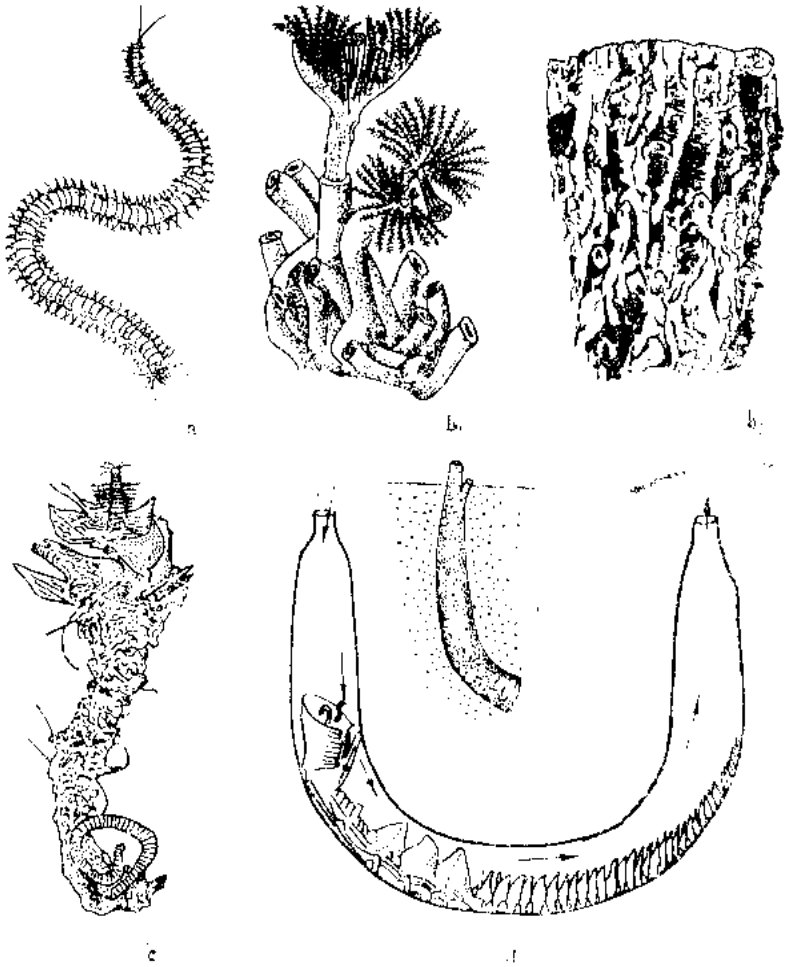


图9-1　环形动物及其管穴类代表

a—沙蚕；b_1—现代龙介虫(*Serpula*)，b_2—龙介管组成的灰岩块(缩小)；c—现代巢沙蚕(*Diopatra*)的生活状态；d—现代毛翼虫(*Chaetopterjs*)及其U形栖管

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2．主要类型及构造

环形动物化石较多，主要为多毛纲动物，它们在沙泥底质上活动，挖掘孔穴，由体表分泌物兼收周围物质形成“虫管”。如多毛纲龙介科的龙介虫(*Serpula*)，常分泌筒状钙质栖管，长数厘米，宽1—5mm，断面呈多边形、椭圆形或三角形，常呈群体，缠绕状盘曲如龙，故而得名(图9-1，b)。管的一端闭塞，动物终生栖息其中。又如毛翼虫科的毛翼虫(*Chaetopteris*)，俗称“磷沙蚕”，生活在自身分泌的钙质“U”形管内，管长约50cm，绝大多数埋入泥沙中，管的两端开口露出地面，虫体终生栖居管中(图9-1，d)。现代的巢沙蚕(*Diopatra*)分泌的钙质栖管粘结许多沙粒、贝壳碎片等围绕其周围，管口露出地面，虫体栖息其中(图9-1，c)。

多毛纲的其他类型如沙虫(*Arenicola*)，又名海蚯蚓，在沙中挖穴，形成横或斜的各种孔道，虫体栖居其中，地面穴口处有粪堆。有些肉食性的多毛类如沙蚕(*Nereis*)口内有几丁质腭器，呈镰刀状，内侧呈锯齿状，用以杀死动物，其大小<1mm。腭器可在地层中保存为化石，称为虫牙(*Scolecodont*)，在北美的奥陶、志留、泥盆纪可作为地层划分对比的标准微体化石。

二、矿物成分及显微结构

1．矿物成分

大多数多毛纲分泌磷质管，有些形成几丁质管，只有龙介科分泌钙质管，其矿物成分多为高镁方解石或文石组成，也有两者混合组成者。

虫牙主要由β几丁质组成，或伴生有磷质、硅质。

2．显微结构

龙介科的栖管一般为片状结构，内层为平行片状，片体厚约5μm，外层为较厚的倾斜片状。外层和内层在倾斜度小时难以区分，通常似乎成为一层，围绕管的长轴呈同心状排列，在纵切面上，有的虫管外层是由不对称的抛物线状致密薄片组成，个别种类其虫管外层为玻纤结构，内层为同心叶片状结构。文石质的虫管成岩后多已转化为次生方解石晶粒结构。虫牙的结构为两层，外层为层纤，富有机质，暗褐至黑色，内层呈纤状，有许多细管，色浅。

三、生活环境及地史分布

1．生活环境

环形动物在海水、淡水和陆地上均有分布，只有少数营寄生生活。其中多毛纲为海生，从温暖浅海至深海都有，但种类不同。它们多栖居于石缝或自身分泌的栖管中，栖管包附于坚硬底质或其他物体上、沿海砂土、贝壳、泥土、礁石以及水生植物丛生的海底是它们主要栖息环境，且越近岸边种类越多，而且在适合的条件下，龙介类可形成大型的浅水礁，但一般环形动物对碳酸盐沉积的改造作用大于建造作用。多毛纲的少数种类为陆栖，掘土穴居。也有少数种可进入河口或淡水中生活，营游泳生活者极少。

2．地史分布

环形动物从晚震旦纪开始出现，而其中发育钙质栖管的龙介类从早寒武世开始出现，并一直延续到现在。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第十章　节肢动物门(Arthropoda)

节肢动物是由环形动物发展而来的较高级的无脊椎动物，如现代水中的虾、陆地上的蜘蛛、空中飞翔的蜻蜓等，是现代动物界中生活领域广阔、数量和种类繁多的一个门类。

节肢动物身体呈左右对称、分节，具三胚层和真体腔。整个身躯分头、胸、腹三部份，各部份包括若干体节，每个体节具一对分节的附肢，生于腹面两侧，故而得名。头部附肢可进一步分为触角，上、下腭或螯肢，司捕食、咀嚼和感觉功能。一般附肢行游泳、跳跃、步行之功能，有的还起呼吸作用。身体披以几丁质甲壳，以支持软体、附着肌肉、御敌或保持体内水份，因而才使这类动物进入陆地和空中生活。有时在甲壳的几丁质成分中加入碳酸钙和磷酸钙，使甲壳更加坚硬。甲壳不能随动物生长而增大，需要定期脱壳，由幼虫至成虫有的脱壳达十几次甚至几十次之多。节肢动物的神经系统比较发达，大多数都具有眼，呼吸器官有的用鳃、气管、肺，也有用身体表皮的。生殖方式为雌雄异体，卵生式。

节肢动物根据呼吸器官的性质及位置、身体分节特点、附肢的数目及构造，可划分为九个超纲。其中以三叶形超纲中的三叶虫纲、甲壳超纲中的介形虫纲具有重要的地层和环境意义，六足超纲的昆虫纲次之。本章仅介绍三叶虫和介形虫两个纲。

第一节　三叶虫纲（Trilobita）

一、概述

三叶虫是节肢动物中已经灭绝的一个纲。身体扁平，背侧有坚固的甲壳，腹侧有柔软的腹膜和附肢，自前而后可分为头部(头甲)、胸部(胸甲)和尾部(尾甲)。甲壳被两条背沟纵分为一个轴叶和两个肋叶，故而得名(图10-1)。甲壳常呈向上微隆起的长卵形或椭圆形，一般长3—10cm，最小不及6mm，最大可达70cm，厚度约0.1—1mm，多以单个节片出现。

头甲构造复杂，多呈半椭圆形，中间有隆起的头鞍和颈环，其余称颊部。头鞍不分节，仅有鞍沟。头甲两侧有微弯曲的向后延伸的颊刺。胸甲由若干形状相似、相互衔接并可活动的胸节组成，原始种类节数多；愈高级者胸节愈少。身体可以卷曲，胸甲间隆起部份称轴叶，两侧为肋叶，各肋节可延长成肋刺。尾甲多呈半圆形，由不活动的体节融合而成，有的具尾刺。

三叶虫是靠脱壳而发育增长的生物，头甲、胸甲、尾甲在死亡后很快体解，因此很难看到头、胸、尾相连而完整保存的化石。由于三叶虫各部份形状不同，加上岩石薄片的切面方位各异，故在镜下常见的是形态各异的三叶虫化石碎片。在纵切甲壳的垂直切面中，头甲平缓，胸甲呈弓形，由呈钩状的节片组成，尾甲呈波状弯曲。在横向垂直切面中，

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

轴部显平缓的隆起，两侧下凹。在通过轴部的弦切面中，甲壳显示内空的不规则环或串珠状环。由于甲壳边缘都发生向内弯曲，因而在垂直切面中均呈手杖状或钩状，尤其在头部边缘和尾缘向内弯曲最大，在厚度上是逐渐尖灭的，而与胸节片切面的钩状不同。三叶虫的颊刺、肋刺、尾刺的横切面呈中空的圆环状(图10-2)。

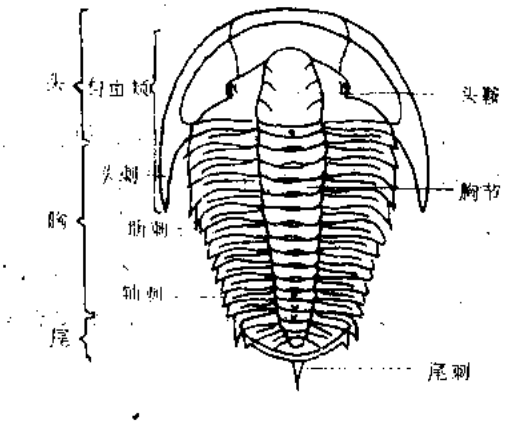


图10-1　三叶虫的基本形态

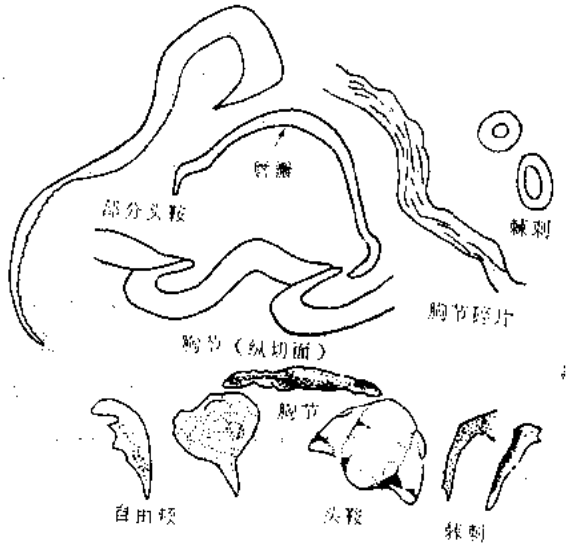


图10-2　三叶虫各部份及其切面形态

二、矿物成分及显微结构

1．矿物成分

三叶虫的壳体基本上由低镁方解石组成，并见有磷质及分解的有机质，薄片中显浅棕黄色，色的深浅表示有机质含量多少，还常见有平行壳面的树皮状花纹。也有完全由磷质和有机质组成者。

2．显微结构

三叶虫为单层玻纤结构，正交光下可具典型的波状消光，尤其在弦切面中最为显著(图版Ⅹ-3,4,5)。有时具平行壳面的生长纹。

在显微镜下，三叶虫碎片以特征的浅黄棕色和典型的单层玻纤结构与其他生物化石碎片相区别。三叶虫与具玻纤结构的有孔虫的区别在于前者壳厚(>0.1mm)，具强烈向内弯曲的钩状，或呈多向弯曲或具反折现象；后者个体小于3mm，有房室，壳较薄，常<0.1mm，单向平缓弯曲。三叶虫的颊刺、尾刺横切面形态与腕足类棘刺形态类似，区别是前者为玻纤结构，后者为平行片状结构。

三叶虫的分类主要是根据头鞍形状、大小、凸度，鞍沟的数量、深浅、伸展方向，眼叶大小、尾甲分节数目、尾刺特征等，而在显微镜下观察的只是化石碎片的某种切面，上述特征则无法观察，壳体的矿物成分、显微结构又无法鉴别三叶虫的各种类型，因此化石岩石学的方法只能鉴别三叶虫的大类。有鉴于此，有关三叶虫的种类这里就不再赘述了。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

三、生活环境及地史分布

1．生活环境

三叶虫为典型的海相生物，大多数适于浅海底栖爬行或半游泳生活，少数可在远洋中游泳或漂浮，以原生动物、海绵动物、腔肠动物、腕足动物等尸体或海藻及其他细小植物为食。三叶虫多喜欢泥质或泥灰质底质，也有一些栖息于坚硬的底质上，仅少数几种栖息于礁相环境。三叶虫化石很少发现完整的甲壳，一般多呈碎片异地埋藏。并常与海百合、珊瑚、腕足、头足类等浅海生物化石共生。

2．地史分布

三叶虫的远祖在前寒武纪开始出现，而化石最早出现于早寒武世初期，至晚寒武世发展到顶峰，分布广泛，遍及全球，演化迅速，为寒武系地层划分对比的标准化石。奥陶纪时仍很繁盛，寒武纪的许多类别虽相继衰退或灭绝，但有许多新的类别出现。在奥陶纪由于活动能力强的肉食性动物的头足类迅速兴起，三叶虫在海洋中已不再是占居统治地位的生物。志留纪时开始衰落，至泥盆纪时只剩下少数几个科，到二叠纪末期全部灭绝。

第二节　介形虫纲（Ostracoda）

一、壳体的形状和构造

介形虫具两个瓣壳，软体被包围在两瓣壳之内，形似软体动物门的双壳类（瓣鳃类）身体呈两侧对称，不分节，但有分节的附肢。个体微小，壳长一般在0.4—2mm之间，个别特大者壳长达7cm左右，壳厚0.02—0.1mm，淡水生活者薄，海生者厚。瓣壳分左右两瓣，多数不等大，较大的瓣常于壳的边缘部份包覆于较小的瓣上，称之为超复。背部边缘有铰合构造，由凸起的齿、脊及凹入的臼、槽等铰合成分组成，古生代及中新生代陆相介形虫的铰合构造比较简单，中新生代海相介形虫的铰合构造大多较为复杂。壳形侧视呈圆形、半圆形、椭圆形或三角形（图10-3），垂直铰合线的切面中，壳体呈卵形，一边具叠复现象，在平行铰合线而垂直铰合面的切面中，壳体呈纺锤形，弦切面中为圆环形，碎片显新月形。壳体表面有的光滑无饰，有的具各种装饰，如蜂窝状、网纹状、突起的瘤状、棘刺状、脊状等。

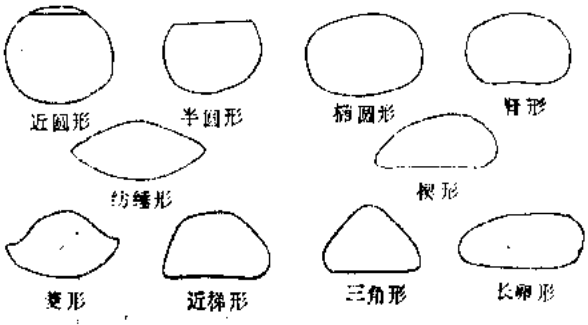


图10-3　介形虫类常见的几种壳形（侧视）

二、矿物成分及显微结构

1．矿物成分

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

介形虫壳壁由紧接软体的内薄板和其外的外薄板两部份组成。内薄板为一层几丁质薄膜层，外薄板由内几丁质层和外几丁质层以及夹在二者之间的钙质层构成。在化石中几丁质不易保存，而易于分解，在化石切面上常见有机质，且多呈褐色或深棕色，钙质成分为低镁方解石。有时可见磷质。

2．显微结构

介形虫多为单层玻纤结构，少见层纤结构(图版Ⅹ-6,7)。某些科如豆石虫科的钙质层为双层壳，外层为致密微粒层，内层为柱状层，柱宽0.01mm。

介形虫以壳小而薄以及具玻纤或层纤结构等特征可与瓣鳃类、腕足类分开。以壳小而薄、平缓弯曲、无反折现象可与三叶虫碎片相区别。大型豆石虫科介形虫以具有柱状层而区别于三叶虫。

三、生活环境及地史分布

1．生活环境

介形虫的生活领域极为广阔，近岸浅海是介形虫大量繁殖的主要地区。陆地上的湖泊、河流、池塘等都有介形虫的广泛分布，有些生活于半咸水到超咸水的泻湖，个别甚

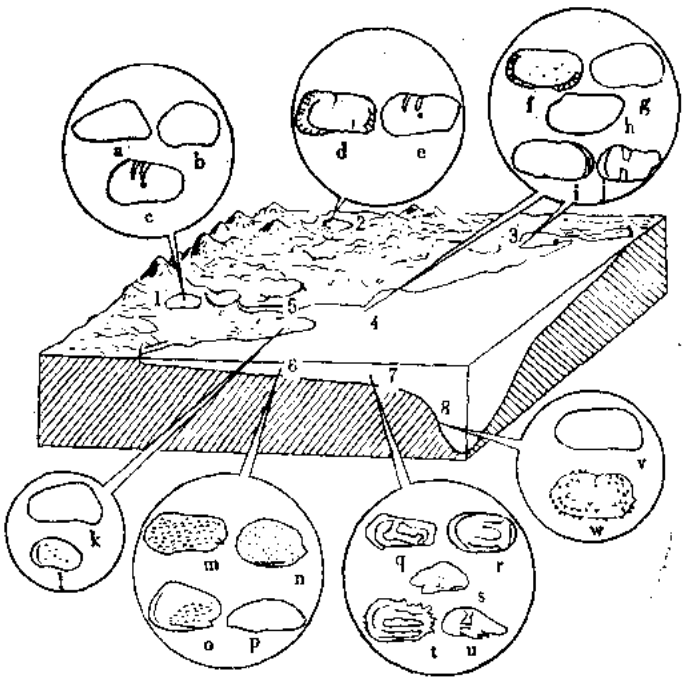


图10-4　我国各种沉积环境的沉积物中现代介形虫组合分布示意图
(据同济大学海洋地质系，1980)

a—玻璃介；b—丽星介；c—土星介；d—湖花介；e—土星介；f—中华丽花介；g—洁面介；h—弯贝介；I—阵氏介；J—新单角介；k—玻璃介等陆相；1—中华丽花介等海相；m—豆艳花介；n—耳形介；o—拟陆斯凯介；p—土库曼介；q—穆赛介；r—小花形介；s—翼花形介；t—戳花介；u—鱼尾介
v—克利特介；w—棘艳花介

1—淡水湖泊相；2—内陆盐湖相；3—泻湖相；4—河口淡化海相；5—河口湾相；6—内陆棚相；7—外陆棚相；8—大陆斜坡

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

至能栖息于地下水中。但是，具体到不同的类型，它们对环境的适应能力相差较大，因此在淡水、半咸水和海水等不同的水域，各具其特有的类型(图10-4)。即便在同一水域的不同地段，由于环境因素的差异，介形虫的组合面貌也不尽相同，如大多数海相介形虫不能适应盐度低于10‰的水体，淡水介形虫也难适应盐度超过3‰的半咸水环境。有些陆相广盐性介形虫适应水域盐度范围广，它既可分布于完全与海无关的内陆盐水，也可分布于边缘环境的半咸水中，但海相广盐性介形虫却从未见于内陆盐湖。此外，不同水域的介形虫因其生态特点和对环境适应能力的差异，导致其外壳形态、构造特征都会表现出一定程度的差异，如大陆环境的介形虫壳面光滑无饰、壳壁薄、无齿铰合，海洋和海陆过渡环境的介形虫壳饰发育、壳壁厚、异齿铰合。

介形虫生活的深度范围从浅水至4200m的深水都有分布，主要营底栖爬行和游泳生活，少数营浮游生活。它们特别喜欢有机质丰富的湖底污泥和咸淡水混合的河口区以及水生植物丛生、光线阴暗、氧气不足的静水环境。

2．地史分布

介形虫类从早寒武世开始出现，一直延续至今。寒武纪的介形虫类壳薄而柔弱，壳体成分为几丁质，至奥陶纪种类和数量大增，壳体成分演化为钙质，泥盆纪、石炭纪繁盛，三叠纪有所衰落，侏罗纪时再度繁盛，直至现代。整个古生代介形虫壳体较大，铰合构造简单，壳饰粗糙，海生为主。中新生代介形虫类壳体变小，铰合构造复杂，壳饰精美，除海生外，淡水类型逐渐繁盛。如海生为主的女神介超科和淡水为主的金星介超科，在中新生代其种属和数量之多、分布之广都是空前的，是中新生代海、陆及过渡相地层的重要微体标准化石，直至现代，它们在各种水域仍很繁盛。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第十一章　棘皮动物门(Echinodermata)

棘皮动物是无脊椎动物的高等类型，由于身体表面多具瘤粒或体刺，故名“棘皮动物”。常见的如海星、海参、海胆、海百合等，是现今生物界较繁盛的门类之一。

棘皮动物属于三胚层后口动物，幼年期呈两侧对称，成年期呈五幅射状。由中胚层分泌钙质骨片。骨片常合并为一完整的硬壳，为真正的内骨骼。棘皮动物壳体骨片多排列成五个幅射带，壳形不一，呈球形、梨形、心形、星形、瓶形、花蕾形等。壳内体腔宽阔，其中有各种内脏，包括与外界相通的极其复杂的水管系统或步带系统，后者末稍的管足司运动、取食、感觉、呼吸及造穴功能。

棘皮动物根据其生活方式——固定或移动，分为两个亚门，即定居的有茎亚门和移动的无茎亚门。有茎亚门营固着定居生活，以茎固着生长，主要有四个纲：海林檎纲、海蕾纲、海百合纲、海座星纲。无茎亚门营自由移动生活，也分为四个纲：海星纲、海胆纲、蛇尾纲和海参纲。其中常见的主要有海百合纲(Crinoidea)、海胆纲(Echinoidea)、海林檎纲(Cystoidea)和海参纲(Holothuroidea)。上述四纲中保存为化石且具有重要的地层及环境意义的为海百合和海胆纲，现分别介绍于后。

第一节　海百合纲

海百合纲是棘皮动物的典型代表，结构最为完整，外形如百合花，故而得名。它约占整个棘皮动物的三分之一，居见其在此门类中的重要地位。

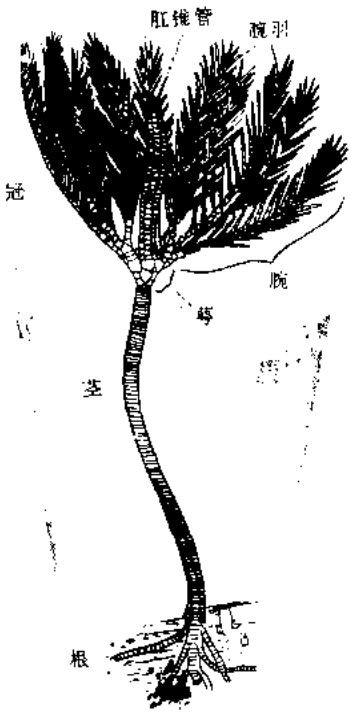


图11-1　海百合外形

一、硬体构造

海百合硬体可分为根、茎、冠(萼和腕)三部份(图11-1)。根呈锚状，用以固着海底。茎长短不一，一般数十厘米，最长可达数米，由一系列钙质茎环连接而成。茎环呈圆形、椭圆形或多边形，直径数十毫米，小的甚至<0.1mm。茎环中央穿孔，孔为圆形、方形、五角形等，原为部份软体所充填，地层中发现的茎环有的仍连接为长茎，有的则分散为单个茎环(图11-2)。萼是保护软体的主要部份，形似花萼，由底板、幅板等按一定位置排列组成(图11-3)。腕由许多腕板组成，位于幅板之上，有单列和双列之分。腕有分叉和不分叉之别，分叉者又有均分、非均分、羽枝状等不同类型。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

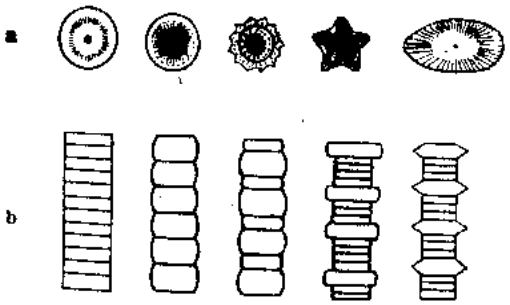


图11-2 海百合茎的构造
a—单个茎环顶视；b—茎环连接形态(侧视)

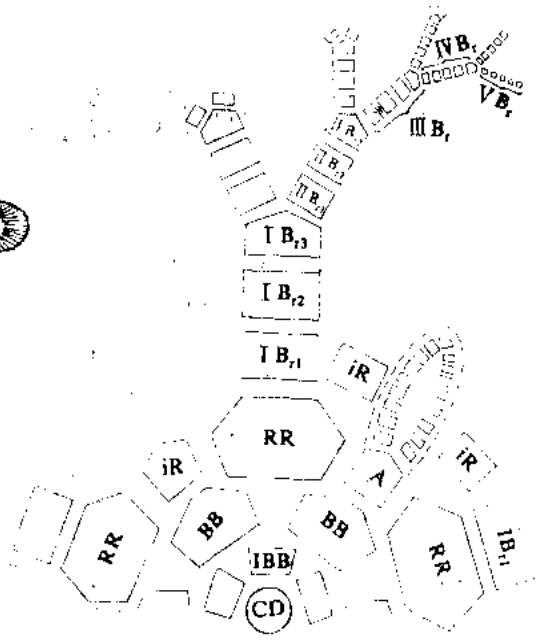


图11-3 海百合萼部骨板分解图
CD—茎；IBB—内底板；BB—底板；RR—辐板；iR—间辐板；A—肛板，其上为肛管；IBr、IIBr、IIIBr—为一至多级腕板

二、矿物成分及显微结构

海百合全由高镁方解石组成。单个骨板呈连生单晶结构，也可为双晶，偶见多晶。活着的海百合，胶原纤维呈网格状布满整个骨板，分泌的方解石充填于网眼中亦呈网格状，其光性方位与整个骨板一致。海百合原生孔隙高达50%，死亡后胶原纤维腐烂更增加了孔隙，原生方解石逐渐次生长大，减少和充满孔隙，甚至茎板内孔也具有连生长大现象，形成消光一致的单晶。胶原纤维的腐烂消失，使骨板内残留有有机质尘点及微细孔隙，尤其在骨板边缘更多，有机质尘点的暗色及微孔隙引起光的散射，使海百合单晶在镜下显得透光性差，多呈暗灰色色调(图版Ⅹ-8，Ⅺ-1)。

海百合骨板的粗大单晶结构易与非生物成因的方解石晶体相混。区别在于前者具有机质网格和尖点，透光性差，常具暗灰色色调，次生加大常见，有时可见规则的外形；后者表面干净透明，形状多不规则。海百合以连生单晶结构与海胆的网格单晶结构相区别。

三、生活环境及地史分布

1、生活环境

海百合为典型的海相生物。现代海百合见于各大洋的各种深度，从潮间带至深海带都有分布。它们喜欢清澈的海水，营群居生活，尤其易繁殖于珊瑚礁间。由于现代海百合在个体发育中为固着生活，至成年期冠脱离茎而浮游水中，故推想古代海百合亦如

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

此。古生代和中新生代的海百合根据与其共生的生物推断，大都属于滨海至浅海固着底栖生物，有时可成为生物礁的主要成员，少数营浮游生活。茎固着于海底不易失散，易保存为完整生物化石，而萼部在水中飘荡，不易保存为化石。

2．地史分布

海百合最早出现于寒武纪，石炭纪早期到达极盛，故早石炭世称为海百合时期，常形成海百合灰岩。二叠纪时期数量减少。古生代的海百合为有茎类型。中生代时海百合又开始逐渐繁盛起来，中生代早期主要为有茎类型，白垩纪时期无茎种类发展，直至现代无茎种类仍然占优势。

第二节　海胆纲

一、硬体形状及构造

海胆是自由移动的海生棘皮动物。全身裹以胆壳，系由钙质骨板紧密结合而成，为中胶层所分泌，故为内骨骼。胆壳外形呈球形、椭圆形、圆盘形。壳外常复盖着能动的、大小不一的棘刺，刺长达300mm，最短<1mm，棘刺细直而长，末端呈尖角形或钝角形，也可呈棒状或蘑菇状，横切面呈圆形或三角形，中空，具网格状和放射状排列的细孔。壳体骨板大多呈辐射对称，少数为两侧对称。胆壳可分为冠部、口围、顶系和肛围四部份。冠部为壳的主部，由步带和间步带各五条组成，步带较窄，而间步带较宽，每条步带各有2—20排板，间步带则有1—14排板，步带板上有小孔，位于内部放射水管之上，为水管末稍(管足)通过之处，间步带无孔(图11-4、5)。口围圆形至多边形，由许多小板及薄皮层组成，位于口面(腹面)中央。口围中有时可见咀嚼器(图11-5)。肛围位于肛门周围，也由小板及薄皮层组成。顶系位于肛围之外，由眼板、生殖板各五块组成。眼板小，其上有感光小孔，生殖板较大，其上有生殖孔，其一兼为筛板(图11-4)。

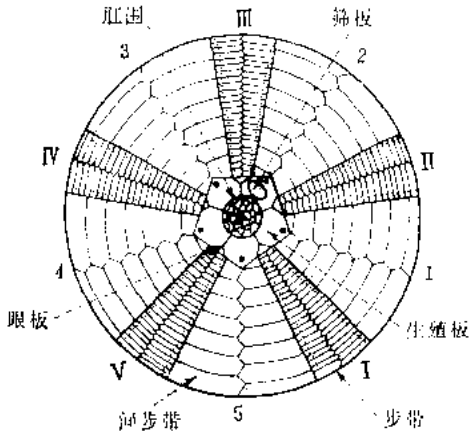


图11-4　规则海胆壳背视模式，图示骨板排列及构造

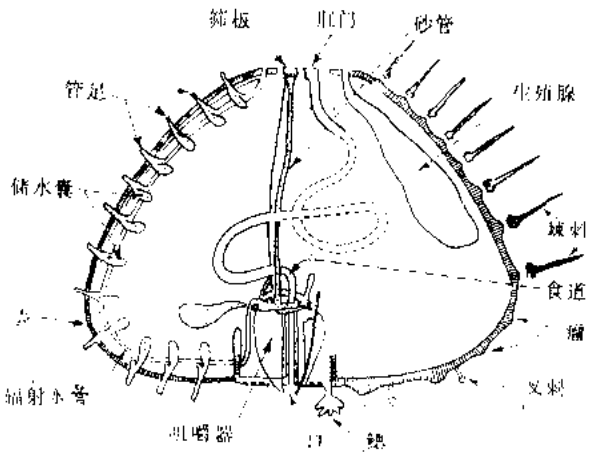


图11-5　现代海胆(*Eochinua*)的口肛方向切面，示基本构造

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

二、矿物成分及显微结构

海胆骨板的矿物成分为高镁方解石。具网格单晶结构，亦见有双晶和放射状排列的多晶。海胆分泌内骨骼时，先在细胞中分泌钙质颗粒，然后转变为三射骨针，骨针扩大并在顶端分叉，由于骨针相互接触，连接成网状基板，基板再向上生长形成三向立体网格，即为消光一致的单晶。当海胆死亡，其胶原纤维腐烂后形成的孔隙不是连生长大而是被外来的方解石次生充填，其c轴与原生单晶方解石的c轴相互垂直，消光不一致，形成网格单晶，原生方解石c轴多为径向，也可呈弦向。在骨板径向切面中，显长方形，网格次生充填物平行壳面，呈平行排列；在骨板弦切面中，网格次生充填物显示放射状扇形排列。

海胆棘刺亦为高镁方解石组成，具网格单晶结构(图版Ⅺ-2)。棘刺的c轴一般与生它的骨板方位一致，棘刺的横切面呈放射同心网格状排列，中央至少一部份是空心的。其纵向切面内部结构排列与骨板径向切面类似。

海胆以特有的网格单晶结构可与包括海百合在内的其他所有生物化石碎片相区别。

三、生活环境及地史分布

1。生活环境

海胆亦为典型的海相生物。它生活于海底的不同深度，从潮间带至大于6000m的深海沟，但主要分布于100m之内的海洋。大多数要求正常盐度的海水。在温暖的海洋中较为广泛，种属也较多。喜群居，营底栖缓慢移动生活，有一些喜穴居，另一些则喜欢栖居于砂底或岩底。对光线的反映都是负性的。

2。地史分布

海胆最早出现于奥陶纪，一直延续至现代。古生代的海胆多为口、肛对应的规则海胆，又称正形海胆，其种类不多，除头帕目外，在二叠纪都已灭绝。中生代出现口、肛不对应的不规则海胆，又称歪斜海胆，兴盛于晚侏罗世及白垩纪，直至新生代不规则海胆仍占优势地位。海胆化石在地层中发现不多，但在石炭—二叠纪灰岩中可见到海胆骨板及棘刺。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第十二章　常见的其他非钙质生物化石

前面各章主要介绍的是具钙质硬体的生物化石。本章着重介绍非钙质硬体的几种生物化石。

第一节　硅藻类（Bacilllariophyta）

一、一般特征

硅藻大部份是单细胞藻体，但也有许多种类借助细胞分泌的胶状物质使许多个体连成丝状、带状、链状、星状、分枝状群体。硅藻个体微小，最小者仅4μm，大者100μm以上，一般20μm左右。硅藻原生质中含色素，主要为叶绿素、α和β胡萝卜素、叶黄素。生殖以无性生殖的细胞分裂为主。

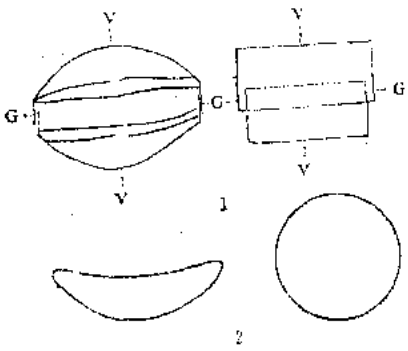


图12-1　硅藻细胞被壳图
V—外壳；V'—内壳；G—壳环（环带）
1—环带面观；2—壳面观

硅藻的细胞壁与其他藻类的区别在于它高度硅化，由上下两个肥皂盒状或培养皿状的半片所组成。其中套在外面、体积较大的称上壳，套在里面、体积较小的称下壳，上、下壳之间的侧面称壳环或环带（图12-1）。镜下见到的硅藻只能是壳面或壳环面。壳面的形态多种多样，有盘形、椭圆形、新月形、瓣状、三角形和方形等（图12-2）。硅藻壳面上可见圆点状的细小点纹，有的可见网眼和肋纹（图12-3），此外还可见有棘刺，它是壳壁在壳面上的脊状突起，具有各种形态。

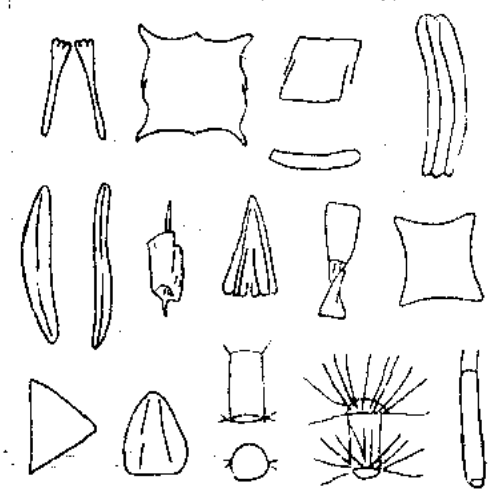


图12-2　硅藻的各种形态

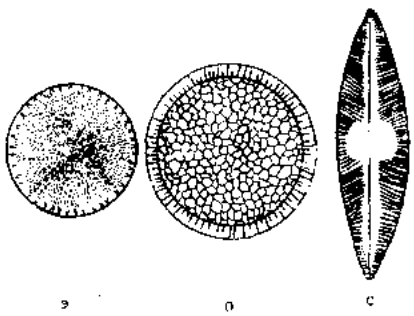


图12-3　硅藻的壳面构造
a—点纹；b—网眼；c—肋纹

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

硅藻细胞的成分主要由果胶质及沉淀其中的非晶质二氧化硅组成。矿物成分为蛋白石。它们在成岩过程中向玉髓和石英转化，故生物特征往往不能保存。大量的硅藻死亡堆积可形成硅藻土或板状硅藻土。

硅藻以个体小、棘刺短小、壳面点纹和网点一般多具放射状排列而区别于放射虫。

二、生活环境和地史分布

硅藻生活的范围极广，绝大多数生活于海水、淡水、半咸水，少数为气生。不同种属狭盐性者多、广盐性者极少见。海生者可生活于半咸水，而生活于淡水者却很难在半咸水中生存。

海生硅藻绝大多数为冷水型，在寒冷地区的海洋中，数量和种属都超过其他地区，如在南极洲四百米厚的冰层下面仍见有硅藻的踪迹。海生硅藻有的营附生生活，附生在潮间岩石、石块及各种海生藻类原植体上，另一些营浮游生活，称浮游硅藻，对于海水温度、咸度等变化极为敏感。

淡水硅藻数量不及海生，属种也有一定。其中有很多喜欢生活于冷水，或在早春、晚秋大量出现，生活方式亦有附生和浮游两种方式。我国山东山旺地区第三系硅藻土极为丰富，沉积厚度大、质纯，具发育良好的水平层理，曾被当地人誉为“万卷书”，为内陆安静的淡水湖泊的产物。

硅藻化石的最早纪录为法国上侏罗统，晚白垩世和第三纪最为繁盛，现在硅藻大都是古代硅藻延续下来的种属。

第二节　放射虫（Radiolaria）

一、一般特征

放射虫属于原生动物门的肉足虫纲，为海生漂浮的单细胞动物，具放射状排列的线状伪足。它与其他原生动物的主要区别在于细胞质内有一个几丁质中心囊，并将细胞质分为囊内和囊外两部份。囊内有核，司营养及生殖，囊外细胞质有许多脂肪粒和空泡，有利于放射虫营浮游生活。放射虫形状多样，通常为球形、钟罩形、椭圆形、盘形、圆锥形以及塔形等，身体直径0.1—2.5mm，群生的可＞15mm，壳外有各种形状的刺（图12-4）。

放射虫的骨骼包含在有机体中，由细胞质分泌，骨骼的矿物组成为硅质或为含有机质的硅质。骨骼构造可划分为三种类型：（1）松散构造，为互不连接或接合不坚实的杆、骨针及刺；（2）网球构造，沿中心囊膜紧密连接成网状、球形、锥形等；（3）同心构造，呈多层同心排列的网格状壳，各层间常有许多针、钩、小柱相连，构成极其精巧美丽的壳形。一般具松散构造的放射虫不易保存为化石，后两种类型在地层中常能保存。

二、生活环境及地史分布

放射虫多为正常盐度的远洋生物，营漂浮生活，但有些具坚实块状外壳者，是靠近海底生活的类型，其生活的水体深度不同，有的可在4000m以下的深水中生活。由于放射虫壳体的硅质成分不易被海水溶解，所以它以惊人的密度堆积于海底。据统计，在一

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

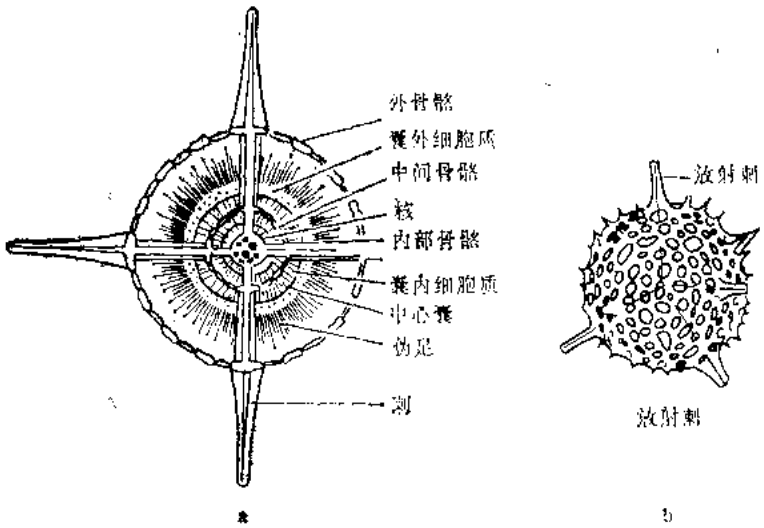


图12-4 放射虫的构造及外形

a—放射虫的构造；b—放射虫外形，具放射刺

立方英寸的岩石中，个体数目可达100万个，形成了著名的深海放射虫软泥。据统计，世界海底面积的3.4%皆为这种软泥所复盖。

放射虫的分布几乎遍及世界所有海域。但它们的大多数生活于温暖海洋中，由赤道向两极其数量很快减少，仅有一小部份可在两极生存。一般受暖流影响的海域，放射虫的壳薄、孔小、构造纤细、放射刺长、侧刺发育、个体数量多，受寒流影响的海域则相反。因此以放射虫的特征可推断古气候。

放射虫化石常保存于硅质岩中，也见于灰岩、泥岩、钙质页岩中，有时在火山碎屑岩中亦可见到。

放射虫自寒武纪开始出现，一直延续至今，泥盆纪后期至石炭纪曾一度繁盛。侏罗—白垩纪出现不少的新类型，壳形趋于复杂。新生代是放射虫的极盛时期，尤其是始新世和中新世，放射虫所有各科均已出现，世界各地均有广泛分布。

第三节 牙形石（Conodonts）

一、一般特征

牙形石为齿状微体化石，个体大小长约0.1—5mm，形态变化多样，有圆锥状、角锥状、骨片状、带齿的骨棒状以及平台状等等。根据其形态可分为三类（图12-5），即：(1)单锥型，呈牛角状或微弯曲的齿状，横切面呈棱状、透镜状、圆形、近三角形及不规则状；(2)复合型，除主齿外还生有锯齿，锯齿数目不一，可从一个至很多个，并可分为齿棒状和齿片状两类，前者锯齿呈棒状、窄而长、彼此分开，后者薄而高、锯齿狭窄，常彼此融合；(3)平台型，呈平台状，由平台和齿片组成，齿片向前延伸，前齿片上的锯齿较高，而平台上主要锯齿排的锯齿往往不高，平台上面饰有齿疣、隆基等构

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

造。这三种类型之间存在着由单锥型—复合型—平台型的演化趋势。

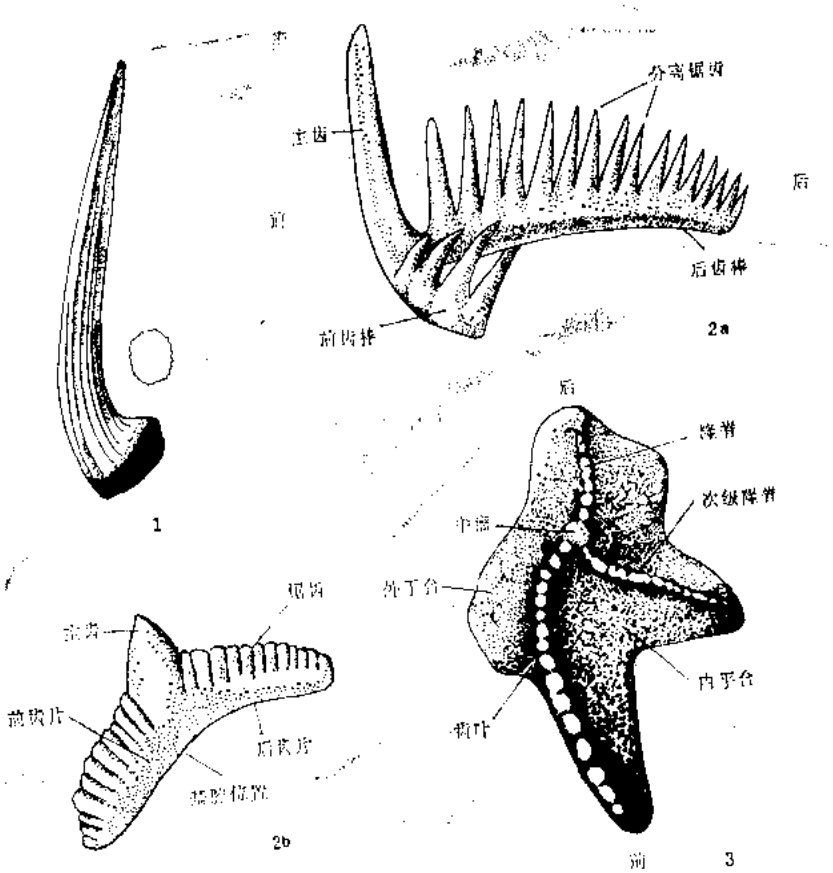


图12-5 牙形石的主要类型

1—单锥型；2—复合型(2a—齿棒状，2b—齿片状)；3—平台型

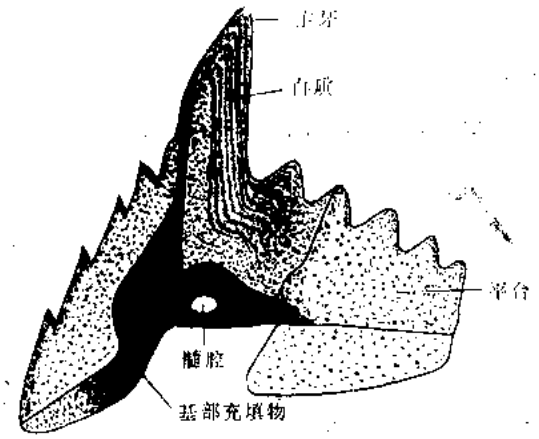


图12-6 原始板状牙形石的一般剖视图
(据Lindstrom, 1973)

牙形石主要由磷酸钙组成，矿物成分为磷灰石，含有一定量的氟，也可含CO_2和有机质。在单偏光下一般呈浅棕色、褐色或灰色。按显微结构特点牙形石可分为三部份，即层纹部份、白质部份和基部(基部孔洞)充填物部份(图12-6)。层纹部份的层纹很薄，层纹之间有细小的空间，层纹末端与自由边缘相交，由于层纹厚度的变化而产生瘤、隆起、脊和附加的外部特征，层纹反映生长周期，由垂直排列的磷灰石纤维组成，正交偏光下具波状消光。白质主要由多孔的粒状磷灰石组成，在反射光下易发生全反射而呈现白色。基部充填物具有更细的层纹。

牙形石以其具磷质骨骼和层纹状构造区别于几丁质和硅质成分的蠕虫牙，以叠锥状、扇形层纹等特征与磷质无铰腕足类相区别。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

关于牙形石的分类位置，至今仍为悬案。过去许多人把它当作蠕虫动物的腭器、腹足纲的齿舌、节肢动物的过滤附肢、鱼类的牙齿等等。七十年代以来，有人利用新技术对牙形石进行处理后，认为牙形石属于脊索动物门中的一个新亚门——牙索动物亚门，但论据并非充分，因此分类问题仍在讨论中。

二、生活环境及地史分布

牙形石的生活环境尚未完全清楚，但目前它仅发现于海相地层，常与海相生物共生。它与鹦鹉螺、菊石、鱼类碎片共生时数量较多；在含小腕足类、瓣鳃类、腹足类、三叶虫、海百合茎、笔石的地层中，也有一定数量；在含䗴类、层孔虫、造礁珊瑚、大腕足类、介形虫类的岩石中，含量较少。不同类型的岩石中，牙形石含量也不相同，海相灰岩中牙形石含量最丰富，黑色页岩中次之，灰绿、黄绿色甚至红色海相页岩亦可含有一定数量的牙形石，白云岩、深褐色页岩中含牙形石较少。国外在砂岩和各种硅质岩中亦找到过完美的牙形石化石。

牙形石从早寒武世开始出现，一直延续到白垩纪。由于它形体微小、数量众多、形态特殊、地理分布广，很多种属垂直分布时间短，因此不少牙形石类型成了良好的标准化石。牙形石在我国华北寒武系、奥陶系海相碳酸盐岩地层中有着广泛的分布。对这些时代的地层划分对比起着重要作用。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第十三章　遗迹化石(Ichnofossils)

第一节　概　　述

一、遗迹化石的概念

遗迹化石是地史时期中生物在沉积物表面或内部生活活动遗留的痕迹，是地史时期中各种生物成因的沉积构造。

遗迹化石既不同于遗体化石，也有别于自然营力形成的无机成因的沉积构造。因为遗迹化石本身既没有固定的“骨骼”成分和特殊构造，也与自然营力的物理化学过程无关，它们是生物生活活动打在沉积物上的烙印。例如高等生物行走的“足迹”，生物软体或腹部接触泥砂移动时产生的“移迹”、“拖迹”，生物摄食或居住形成的“凹坑”和“潜穴”，在坚硬岩石上的钻孔，吞食沉积物的生物造成的“摄食花纹”，生物活动形成的“扰动构造”，生物排泄形成的粪球粒，生物生殖作用所形成的遗迹等等。

在地史时期中某些生物成因的沉积构造及有些生物的“遗物”，如藻类粘结作用形成的“叠层石”、节肢动物生长阶段的脱壳、动物的卵和蛋化石等，不少人也把它们当作遗迹化石，对此目前尚存在不同认识。

遗迹化石的研究遵循着“将今论古”的现实主义原则，根据现代生物遗迹所获得的知识去对比和推断地史时期中生物所形成的各种遗迹。

二、遗迹化石的主要特点

遗迹化石与遗体化石相比，有以下主要特点：

1．遗迹化石虽非生物实体，但它仍是生物成因，系生物活动在沉积物上保留的特殊的沉积构造，它比遗体化石更能直接反映造迹生物的习性和生态类型，如生物的居住、觅食、运动、保护等习性。

2．除粪球粒及部份潜穴之外，绝大多数遗迹化石从产生至形成都不会移动，它们不会受搬运而埋藏，而是永久地保存于原地，因此它们比遗体化石保存得更完整，更能准确地说明生物原来生活的各种条件，能更好地反映沉积环境。

3．一种遗迹化石在地史上延续时间较长，甚至重复出现，它虽不能象某些遗体化石那样因短暂的地史分布而作为标准化石，但它们往往出现于特定的沉积环境，因而具有较好的指相意义。地史上相似的遗迹化石群落可随着沉积环境的重复出现而出现，我们可利用这种近似性和重复性进行相分析对比。

4．只有具硬体的生物才能形成遗体化石，它们的出现受到时代和环境的限制。但生物不论其有无硬体，它们生活活动的行为都有可能形成遗迹化石，不论从地质时代或是从环境分布方面，它们都要比遗体化石广泛得多。如蠕虫动物门因缺少硬体，多数难保存为遗体化石，但地史上它们形成的遗迹化石却广泛分布，这就为利用它们进行沉积

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

环境分析提供了有利条件。

5．不同的生物对相同的环境有相似的行为反应，因此绝大多数生物遗迹化石就很难用来确定造迹生物所属的门类。尽管如此，我们根据遗迹化石的形态功能分析，仍有可能提供造迹生物生活习性的特征。

6．沉积物的成岩作用对某些遗体化石起着破坏作用，而某些生物在沉积物中的遗迹经过成岩作用却反而显得更加明显，这就为我们利用遗迹化石进行环境分析提供了有利条件。

第二节　遗迹化石的分类及常见类型

一、遗迹化石的分类和命名

遗迹化石的分类目前应用最广的是根据生物生态习性进行的分类。赛拉赫(Seilacher,1953)根据造迹生物的习性特征分为五个大类(图13-1)，现分述之。

1．停迹(Cubichnia)，又称栖息痕，为动物静止、栖息、隐蔽或伺机捕食时暂时停留的痕迹，常表现为低浅的凹痕，反映造迹生物腹侧轮廓。

2．爬迹(Repichnia)，为动物在层面上或其中爬行运动时产生的足迹或移迹，通常表现为足趾印痕、有方向性的弯曲凹沟、两侧对称或左右交互排列的足迹。

3．牧迹(Pascichnia)，又称表层啮痕，为食沉积物的动物一面沿沉积物表层爬行或潜穴，一面食表层附近的有机质所致，表现为整齐系统的蛇曲形、放射形或网格花纹状。

4．觅食迹(Fodinichnia)，为食沉积物的动物深入沉积层内寻觅有机质的潜穴活动所形成的觅食构造，以及与摄食有关的各种生物扰动构造。

5．居住迹(Comichnia)，依靠水流带来食物的滤食性内生动物，为保护和觅食的目的，在地层内形成的永久性的潜穴或钻孔。

近来还有人补充了游泳迹(Natichnia)、飞行迹(Volichnia)、运动迹(Movichnia)和逃逸迹(Fugichnia)等。

遗迹化石的另一种分类方法是按照其保存情况划分为四类：(1) 内生迹(Endichnia)，系保存于岩层内部的生物扰动构造；(2) 外生迹(Exichnia)，系保存于该层以外的生物扰动，后被冲刷重新埋藏；(3) 表生迹(Hypichnia)，保存于岩层底面的生物遗迹。

第三种分类方法是按照遗迹化石的生物系统分类，即自然分类。由于不同生物可能造成相同的遗迹构造，加之有些造迹生物早已灭绝，按照遗迹构造就很难判断造迹生物的种类，因此这种分类在应用上受到了限制。

遗迹化石的命名和遗体化石一样，采用二名法命名遗迹属和遗迹种，并按照国际动物命名法规来描述遗迹化石。赛拉赫等曾建议遗迹属命名其字尾加“inchnus”或“inchnum”，中文属名之后一般用“遗迹”表示。

二、常见的遗迹化石类型

1．足迹(Tracks)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



图13-1 遗迹化石按生态习性分类

1—停迹； 2—爬迹； 3—居住迹； 4—牧迹； 5—觅食迹

足迹属于爬迹类，系动物遗留在松软沉积物表面的脚印，成岩后在层面上被保存所致。多为脊椎动物的两足或四足在沉积物表面交替行走、跑动或搏斗留下的印痕，主要出现于中、新生代。如果足迹断续排列成行且有方向性，称为“行迹”（Trackway），如许多中生代爬行动物或新生代鸟类的足迹(图13-2)。

2．移迹(Trails)

动物蠕动爬行时，以其身体的一部份(常为腹侧)或节肢、疣足等与沉积层面相接触所形成的连续的沟槽印痕(图13-3)。移迹的类型很多，常由蠕虫动物的蠕动或某些软体动物及节肢动物的三叶虫类、蟹类等爬行而成的，其形态多变。常见有蛇曲形，如丽线迹(*Cosmorhaphe* Fuchs,R-E)；双叶形，如克鲁斯迹(*Cruziana* d' Orbigny, ϵ-S)；星状，如星迹(*Asterichnites* Brownet Vokes, R_3)；网状，如古网迹(*Paleodictyon* Meneghini, O-Tr)(图13-3)。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

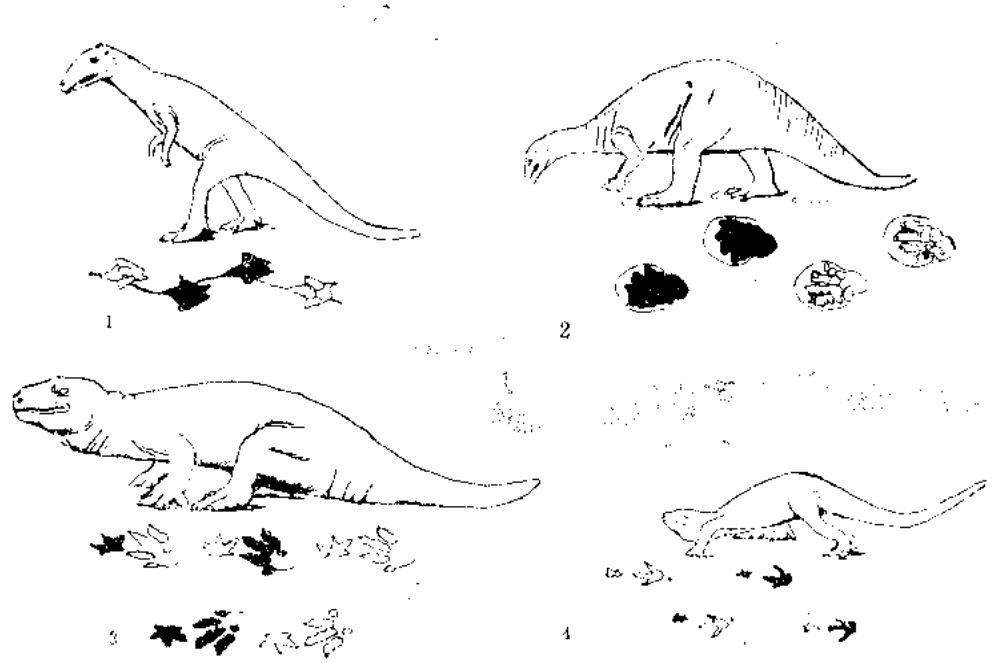


图13-2　几种三叠纪恐龙足迹复原图

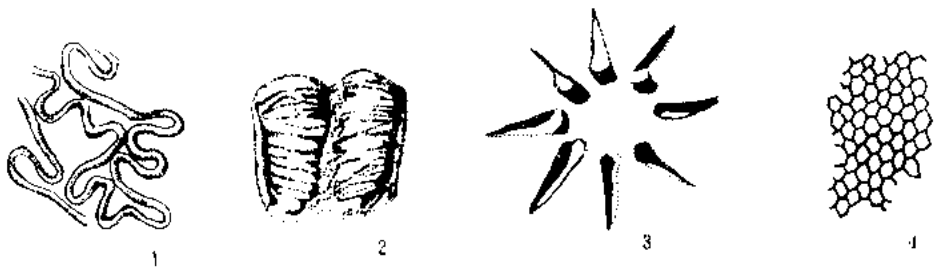


图13-3　移迹的常见类型

1—丽线迹(*Cosmorhaphe*)，×0.6，E_2；2—克鲁斯迹(*Cruziana*)，D_1；
3—星迹(*Asterichnites*)，×0.6；4—古网迹(*Palaeodictyon*)，×0.4，R

3．潜穴（Burrowing）

潜穴是动物为居住或觅食，在尚未完全固结的沉积物中进行挖掘所形成的洞穴或管道。根据形态不同主要分为三种类型（图13-4）：（1）管状，如直管形的针迹（*Skolithos* Haldemen，ϵ－O），U形管的沙蠋迹（*Arenicolites* Salter，ϵ－R_{cc}），螺旋形管状的螺圈迹（*Gyrolithes* Saporta，J－Tr）；（2）灌木状，如海生迹（*Thalassionides* Ehrenberg，T－E）；（3）盘旋状，如动藻迹（*Zoophycus* Massalongo，D－Tr）。

4．钻孔（Boring）

动物为了居住或觅食，在坚硬的底质上或其他生物硬壳上，用机械的或化学的方法所钻的孔道。钻孔生物主要有苔藓、瓣鳃、腹足、蠕虫、海绵等营钻孔生活的类别。钻孔常分布于古海岸坚硬的岩石质海底上。形态简单者呈小坑或袋状，形态复杂者呈分枝钻孔系统（图13-5）。

5．粪化石及粪粒化石

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

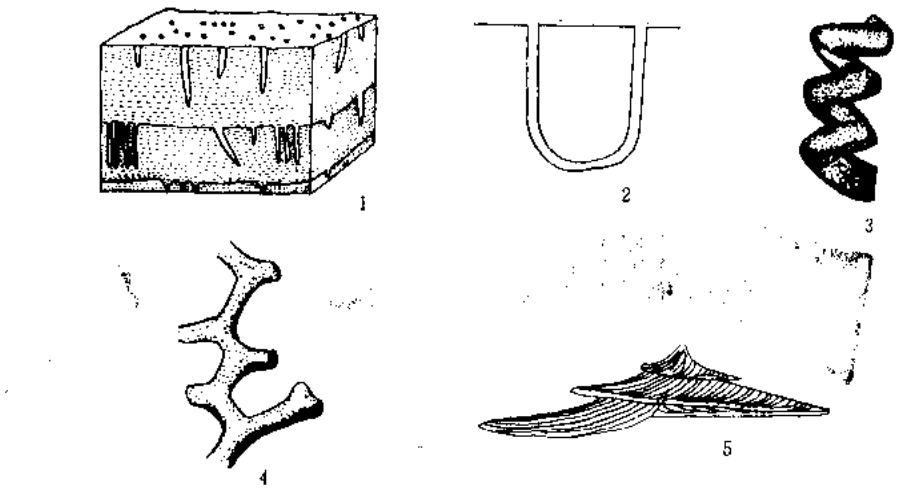


图13-4　潜穴的各种常见类型

1—针迹(*Skolithos*)，直管形，×0.06，ϵ；　2—沙蝎迹(*Arenicolitis*)，U形管状，ϵ—R_{ec}；
3—螺圈迹(*Gyrolithes*)，螺旋形管状，N_1；　4—海生迹(*Thalassinoides*)，灌木状，T—E；
5—动藻迹(*zoophycus*)，盘旋状，D—Tr

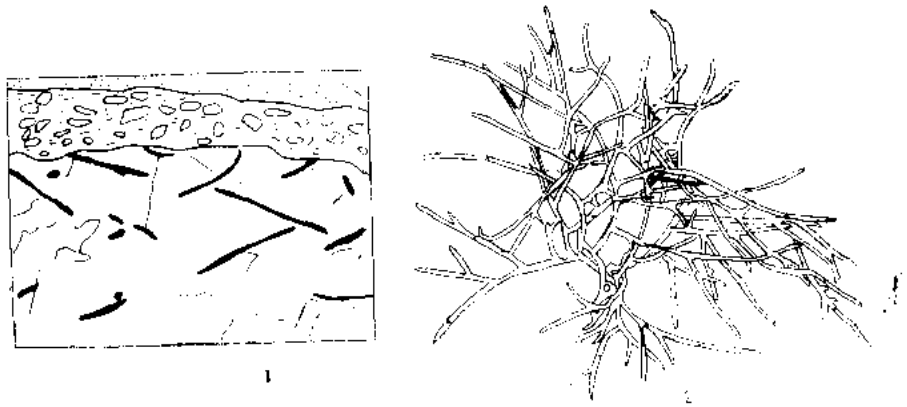


图13-5　生物钻孔

1—袋形钻孔，K_2；　2—苔藓类细长分枝钻孔系统，x射线照片

粪化石(Coprolites)指脊椎动物排泄的粪便经成岩而成。许多生物的粪化石常具有一定的物质成分和形态特征，有时可以此判断造迹生物及其食性。

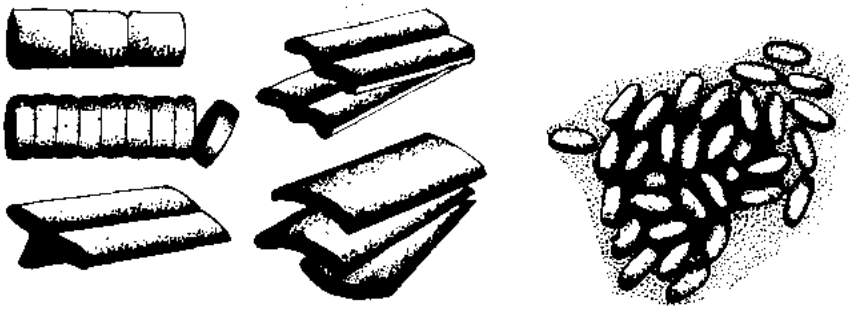
粪粒化石(Fecal Pellets)指无脊椎动物的微小排泄物经成岩石化而成。外形多呈纺锤状、短柱形、椭圆形或球形等，常富含有机质而呈暗褐色(图13-6)。在灰岩中可成为重要的结构组份。

6．蛋化石

卵生动物的生殖作用所形成的遗迹化石，如卵生动物所产的蛋被保存而成的化石。在我国广东南雄、山东莱阳、江西赣州、河南南阳等地的中生代地层中均发现有成窝的恐龙蛋化石(图13-7)。新生代的驼鸟蛋化石在我国也有发现。此类蛋化石有人亦将其归入遗体化石。

遗迹化石的类型很多，不同地质时代各种遗迹化石行为方式类型组合亦有差别。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



1　　2

图13-6　粪化石及粪粒化石

1—现代海洋中保存的双壳动物粪粒，左排自上而下为：*Gardium*, *Veneruptus*, *Pecten*, 右排自上而下为*Ostrea*, *Mytilus*的粪片模式；
2—粪粒*Heteromastus*, ×20

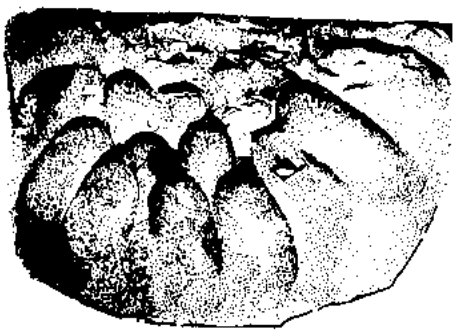


图13-7　恐龙蛋化石，分三个层次排列；广东南雄，R

三、遗迹化石的形成环境

遗迹化石为原地形成，不同类型的遗迹化石常形成于不同的沉积环境，因此它们具有一定的指相意义，可利用它们说明古沉积环境和古地理条件。赛拉赫（Seilacher，1964，1965）根据大量的遗迹化石资料，总结了遗迹化石组合与海水深度等环境因素的关系，划分出六个古海洋深度的遗迹化石相带，每个遗迹相都是按照遗迹化石群落中特征性的遗迹化石进行命名（图13-8）。各遗迹相的特征分述如下。

1．斯戈阳迹（Scoyenia）相

分布于滨海带以下的非海相层，多为红层，且往往是岩性单一的厚层，多由两栖的节肢动物、昆虫和脊椎动物的足迹组成。

2．针管迹（Skolithos）相

出现于滨岸潮间带的砂质沉积中，这里温度、盐度变化大，波浪、潮汐作用强烈，沉积和侵蚀作用迅速。生活在这里的动物多数以保护自己和藏身为主要目的，它们以挖穴居住为主。这类造迹生物主要有甲壳类、软体类、蠕虫类和腕足类的舌形贝等，以悬浮在水流中的微生物和有机质为食。遗迹多以低分异度的密集垂直潜穴管为特征，在此地区的泥质沉积中往往以U形潜穴为特征，在坚硬的岩岸或石质基底上以产生大量的钻孔为特征。

3．舌形菌迹（Glossifungites）相

以近岸滤食性动物的潜穴为特征。因为在滨海岩岸侵蚀区多为古海岸的侵蚀面、悬崖等，环境条件恶劣。由于强烈的波浪和潮汐作用的侵袭，在光滑坚硬的石质海底上形成各种动物的钻孔或洞穴。

4．克鲁兹迹（Cruziana）相

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

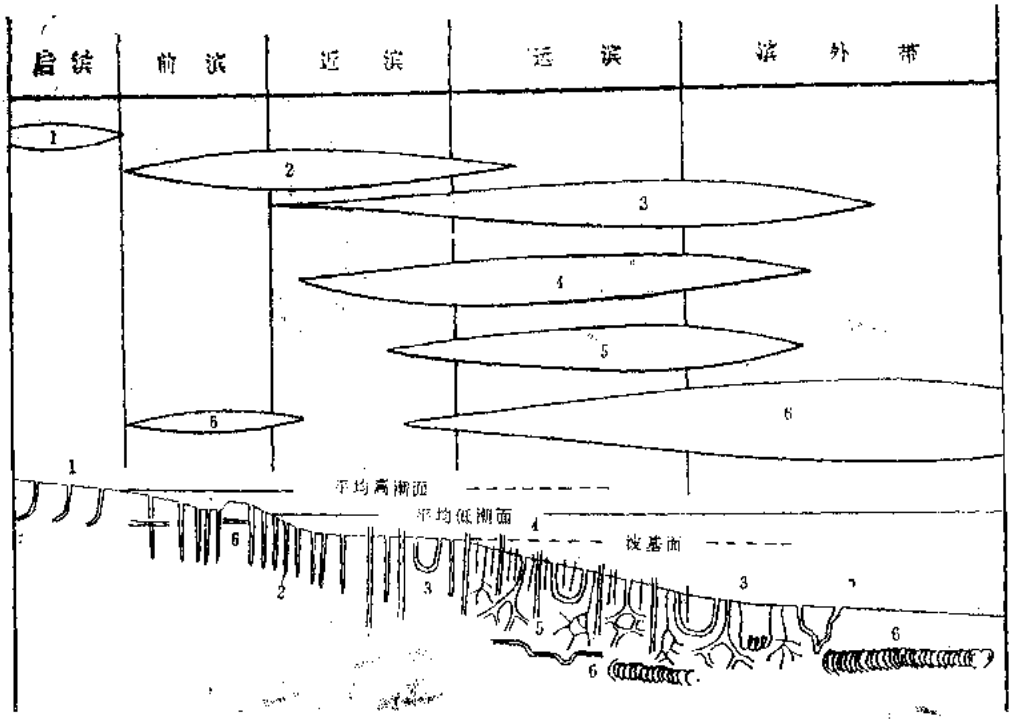


图13-8 遗迹化石组合的深度分带

1—斯戈阳迹(Scoyenia)相； 2—针管迹(Skolithos)相； 3—舌形菌迹(Glossifungites)相；
4—克鲁兹迹(Cruziana)相； 5—螺旋潜迹(Zoophycus)相； 6—类沙蚕迹(Nereites)相

出现于开阔陆棚浅海波浪影响显著的浅水区，这里海水盐份正常，温度随季节而变化，海水中含氧量丰富，底栖生物种类庞杂、数量繁多，因此可以形成各种动物的爬行迹、停息迹和觅食迹。潜穴较浅，倾斜或近水平。

5. 螺旋潜迹(Zoophycus)相

在迅速沉积的浅海环境或浅海外缘及半深海大陆斜坡附近，由于处在波基面附近或其以下，波浪影响极弱，食物开始大量下沉，使这里较深水沉积物的表层含有丰富的有机质。这里生活的动物以蠕虫类为主，它们从一个地点开始沿沉积表层觅食，形成生物觅食构造和潜穴系统痕迹。

6. 类沙蚕迹(Nereites)相

出现于半深海至深海盆地浊流沉积和复理石相，这里海水中含氧量很低或缺氧，生物稀少。生活在这里的生物如蠕虫类、软体类、节肢动物及深水居住的某些棘皮动物，主要不是行保护作用，而是在淤泥的表层寻找大量食物，或以降落在海底的腐败尸体为食物。因此，它们沿层面对周围的有机物质进行有效的“采掘”，形成各种复杂的网状、螺旋状、弯曲状、树枝状等表层食沉积物的收迹。

赛拉赫的遗迹相按深度分带，实践证明基本上是正确的。但近年来也发现了一些例外的情况，如在我国石炭系煤系地层中常见有遗迹化石Zoophycus，杨式溥教授认为是极浅的滨海地区的产物。赛拉赫在1978年对遗迹相也作了补充，认为Zoophycus也可产生在有障壁的浅海区。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

第十四章　生物化石与沉积环境

在沉积学领域内，生物化石及其碎片的识别与鉴定直接服务于沉积环境的推断和沉积相分析，最终的目的是解决古地理问题。在此过程中，单个生物化石属种的鉴定故属重要，但生物化石的组合、数量、保存和分布状况等，对判断各种沉积环境条件更具有重要意义。前面各章节重点介绍了各门类生物化石及其鉴定特征，它们是沉积相标志研究必不可少的基础。在此基础上，本章重点介绍生物化石和化石组合在沉积环境条件判断及相分析方面的应用。

第一节　化石埋藏环境及化石组合

在利用古生物资料分析沉积环境的过程中，化石埋藏条件及化石组合的研究是一个极其重要的环节。因为岩石中保存的化石群与原先活着的生物群在生物种属和数量上往往有着一定差别，这主要是由于化石在形成过程中埋藏条件不同所致。而化石群和生物群的环境意义又不尽相同，因此化石埋藏类型及埋藏环境的研究就显得特别重要了。

一、化石埋藏类型

根据埋藏条件，化石埋藏可分为原地埋藏和异地埋藏两种类型。

1．原地埋藏

原地埋藏为生物群落死亡后未经搬运就地堆积埋藏而成。无外来生物群落分子的加入，其成分为生物群落的组成部份。

原地埋藏形成的化石群又可分为原地化石群和残留化石群两类。

（1）原地化石群：化石群中的分子种类、数量与原来当地生物群的成员几乎完全一致，而且几乎全部未经移动，保存原来生活的位置。

（2）残留化石群：原来生物群中的成员大部份保留着原地生活的状态，而一小部份因被搬运或遭受物理、化学、生物等因素的破坏而消失。

2．异地埋藏

生物群死亡后经过搬运，即便它们曾生活在同一环境，但已离开原地，就成为异地埋藏了。它可由不同生物群落的分子组成。

异地埋藏的化石群又可以分为混合化石群和搬运化石群两种类型。

（1）混合化石群：在未经搬运的原地化石群中混入了部份搬运来的生物，其中有同时的，也可能有较老地质时期的而后再沉积的。

（2）搬运化石群：全部经过搬运，并非原地生活，可能来自几个不同时代的生物群。

应当指出，上述所说的原地埋藏不是绝对未经过任何移动。因为，自然界除了少数

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

固着生物，如生长在岩石上完全不移动的层孔虫、生长在礁体内部的珊瑚等以外，绝大多数生物死亡后往往和原来生活地点有若干移动。因此对那些位移很小而未有脱离开它们原来生活区域很远、甚至把埋藏在同一群落同一相带内的化石群都可视为原地埋藏，只有那些曾经被搬运到距该类生物原来生活区域很远的相带而埋藏者，才称为异地埋藏。

二、埋藏环境的判别

利用古生物资料分析沉积环境和解决古地理问题，重要的是首先要弄清生物化石的埋藏环境，即原地埋藏环境或异地埋藏环境。对此应从下列几方面着手。

1．化石的保存情况

在利用化石保存状况判别埋藏环境时，应注意化石保存的完整程度和磨损程度两个方面。

（1）化石保存的完整程度：一般原地埋藏的化石保存较完整，甚至关节、铰合都未脱落。如原地保存的瓣鳃类和腕足类，都是两瓣联结一起未经分开，或分散的两瓣在同一地点的数量大致为1：1，又如山东临朐县山旺地区第三纪中新世时期湖泊硅藻土层中发现的中新蛇、雅罗鱼、玄武蛙、甚至蝌蚪等都保存得非常完整，轮廓分明、印痕清晰(图14-1)，有的鱼群宛若相互追逐、栩栩如生。经过远距离搬运异地埋藏的化石群保存不完整，如异地埋藏的双瓣类动物的两瓣分开保存，有时在同一层内只保留有一类瓣(左瓣或右瓣、腹瓣或背瓣)，甚至这些分开的瓣沿层面平行排列，堆积成壳相灰岩。当水流强度很大时，经过长距离搬运而异地埋藏的生物介壳，即便呈一类瓣保存，也很难是完整的单瓣，而多半呈破碎的单瓣碎片。

（2）磨损程度：原地埋藏的化石壳体表面无磨损，表面常保存细微的纹饰和棘刺。如贵州省威宁地区中石炭统黑色泥灰岩中的腕足类保存着完美的针状长刺，这些长刺分布于壳的周围。又如山东临朐山旺第三中系新世统硅藻土中保存完整的狼蜘蛛、蜻蜓、蝙蝠等，就连蜻蜓的翅脉都印痕清晰、历历可辨(图14-2)。显然，它们都是原地埋藏的结果。异地埋藏的化石遭受不同程度的磨蚀，除壳体破碎外，其壳体的微细构造多已被磨蚀掉或变得模糊不清。

在镜下描述化石保存的完整程度时，可用完整（自形）、较完整（半自形）、较破碎（砂砾级、他形）以及强烈破碎（粉级、他形）来表示破碎程度，分别用弱度、中度、强度磨损来表示化石的磨损程度。

需要指出的是，生物化石保存的完整程度除了与埋藏前介质水动力强度和搬运状况（时间长短）有关外，还与各类生物自身骨骼各部件联接的紧密程度有关。在埋藏环境的判别时，需要排除后一种因素的干扰。按照骨骼自身各部件联接的紧密程度，可分为三种骨骼类型。①自解式骨骼：有些生物活着时骨骼就是分解的，只是由软体联接，死亡后软体腐烂，不经任何搬运，骨骼就自行体解而原地堆积。如海绵骨针和八射珊瑚骨针，原地埋藏时骨针散开、完整成堆，甚至保持着原始杂乱方位。但异地堆积者不成堆，而且破碎、分散或有定向。②松解式骨骼：有些生物活着时骨骼的各部件靠有机组织联接或相互衔接，死亡后有机质腐烂，联接处形成薄弱点，水体稍有动荡，骨骼就易松散开。例如植物中的松藻类、动物中的双瓣类、海百合茎、节肢动物等，因各部件联接不紧，极微弱的水流就会使骨骼分散。原地堆积者，常保持原来的生长形态，完整未

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

松解到部分松解，但未分选；异地者常全部松解，并具有一定的分选和定向排列。③碎解式骨骼：生物死亡后骨骼各部件仍紧密联接，常为分枝状、丛状、房室状、结壳状、块状等。具这类骨骼的生物化石，即使是在较强的水动力条件下也不易体解、它们的抗碎性按上述排列顺序依次增强。这类生物死后原地堆积时，骨骼一般较完整，常保持生长形态，在较强的水流作用下，部份硬体仍能保持完整的骨骼轮廓。



图14-1 原地埋藏的完整生物化石(据王哲夫，1980)
a—雅罗鱼；b—玄武龟；c—蝴蚌 山东临朐山旺 N



图14-2 蜻蜓化石，可见清晰的翅脉(据王哲夫，1980)
山东临朐山旺 N

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2．化石按个体重量大小分选情况

原地埋藏的化石多未经分选，个体大小混杂，排列不规则。甚至在同一埋藏地点可以发现同一种生物由胚壳到老年期个体的化石。静水环境原地埋藏的鱼化石还可以与鱼子共同埋藏在一起。山东临朐山旺中新统硅藻土层中的鱼化石和鱼鳞一起埋藏在原地。湖南上泥盆统余田桥阶保存有生长在一起一簇10个个体大小不同的弓石燕，它们的啄部都向同一个中心，前缘壳的开口处都向着上侧方，个体大小不一，其壳表面保存有微细构造可证明是生活在原地未经搬运的化石。

异地埋藏的化石一般都经过水力分选，生物硬体个体大小均匀。在现代海岸地区，由于分选的结果，生物个体朝一定方向逐渐作有规律的变化(图14-3)。

生物骨骼的分选程度除受水动力因素控制外，还与生物骨骼原始状况有关。如海百合茎不论它们是否经受任何水流作用，都会表现出“极好”的圆度和分选，而实际上仅能代表一般的分选。此外，物质的供应速度也强烈地影响分选作用，在邻近有各门类生物大量供应的海滩上，快速供应可能掩盖波浪和流水对这些颗粒的分选作用。因此，在利用颗粒的分选来判别埋藏环境时，要考虑到上述因素的影响。

3．化石在岩层中的位置

生物遗体被埋藏后，位置将不再发生变动，地层内的地球化学作用只能改变它们的成分或溶解它们，动力作用也只能对它们加以扭曲和破坏。若根据这一特点去判断埋藏环境，就必需充分了解这些化石原先的生活状态。如腕足动物的长身贝在生活期间是腹瓣凸面朝下，若发现岩层中大部份长身贝背瓣朝下而腹瓣的凸面朝上，就可以证明它们经过了较大的移动。石燕类以及大部份依靠肉茎固着的腕足类，生活时啄部朝下，如果它们的化石其啄部大部份朝上，显然也是经过搬运的结果(图14-4)。原地固着生长的珊瑚总是蓌部向上，若在地层内发现珊瑚的蓌部朝下，显然也是经过搬运的异地埋藏(图14-5)。

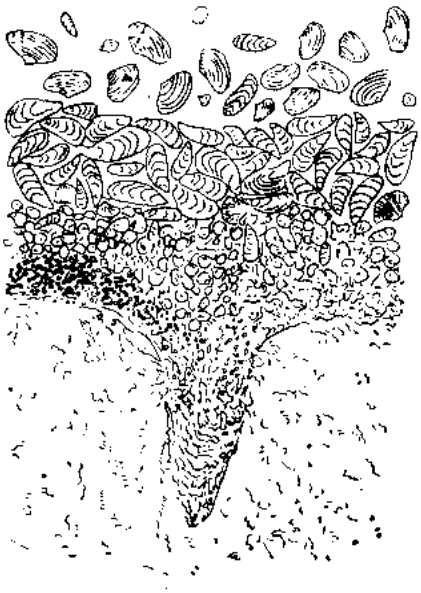


图14-3　波罗的海潮汐带异地埋藏的海鳃类动物机械分选结果（据Давиташвили，1975）

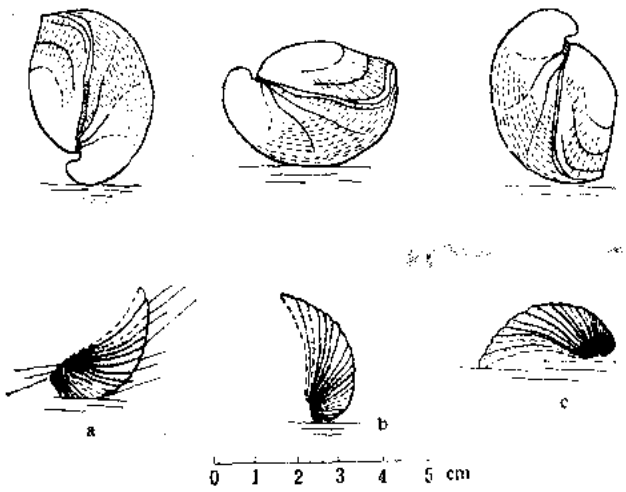


图14-4　腕足动物在地层中的埋藏状况

上排—以肉茎固着的分喙石燕；
下排—用刺固着的轮刺贝；
a—正常生活状态；b—稍经移动；
c—经搬运后的状态(据Иванова，1958)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

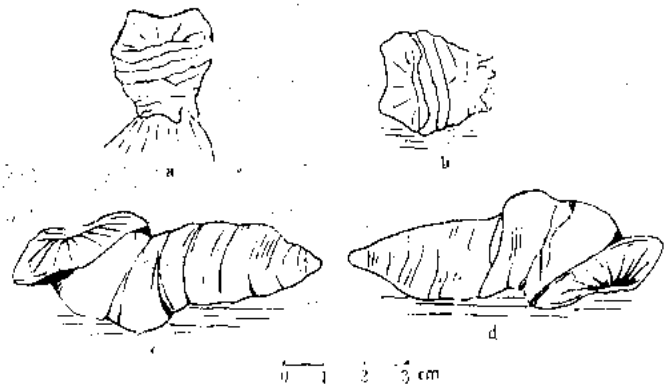


图14-5 单体四射珊瑚在地层中的埋藏状况
a、c—为正常生活位置；b、d—经过搬运

三、化石组合

化石组合是指在一定地区和一定层位的某类岩石中所保存的生物化石类型的总和。由于埋藏环境不同，化石组合类型亦不同。根据埋藏类型可将化石组合分为生态组合和水动力组合两类。

生态组合是在水体较安静的环境中原地生物死亡堆积埋藏而成。一般由原地化石群或残留化石群组成，是低能环境的产物，故也称为原地组合或静水组合。它可以提供有关生物生活环境的资料。

水动力组合是在动荡水条件下，生物硬体经过了搬运、磨损，异地堆积埋藏而成。它包括了混合化石群和搬运化石群，是高能量环境的产物，它可以提供有关水流强度、搬运方式、物质来源等方面的资料。

余素玉(1981)曾根据化石类型的数目将化石组合分为单类、少类、多类三种组合类型。

1．单类组合

指以某一类化石占绝对优势，其他类化石不出现或极少出现的组合。它表明某类生物大量繁殖或突然大量死亡的环境条件。地史上常见的有双瓣壳组合、螺壳组合、有孔虫组合及海百合组合等。

双瓣壳组合分别由腕足类、瓣鳃类、介形虫组成的化石组合。除介形虫组合可能在潮间泻湖、局限海湾原地形成外，其他如腕足类、瓣鳃类原地生成者多分布在礁相附近，从陆棚上部到斜坡环境都可见到，它们的个体较完整、无规则排列、混入生物少。异地埋藏者大都堆积于潮间或潮下高能带，彼此平行排列，具有一定的分选性，混入生物较多。

螺壳组合可为生态组合，壳体类别大体一致，大小个体混杂、排列无规则。

有孔虫组合常见于纺锤虫灰岩(晚古生代)、货币虫灰岩(第三纪)和抱球虫灰岩中。后一种类型大量分布于深海区。

海百合茎组合集中出现于海百合灰岩中，原地堆积者茎板没有完全分开，大小混杂，大量分布于层面上，为潮下近斜坡堆积，异地者茎环分选良好，常形成厚度不大、分布不广的透镜体，为波基面以上斜坡或潮下浅滩堆积。

2．少类组合

少类组合也可称为复类组合，由2—3种化石组成，每类化石在数量上构不成绝对优势，是近岸潮汐带和远岸盆地深水低能区的组合特点。前者以有孔虫、介形虫及瓣鳃类生物组成，后者为较深海的生物如海绵、抱球虫等组成。

3．多类组合

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

指四种以上的化石构成的组合。各类化石在数量上大致相同，为水动力组合，常是浅水高能带的组合特点，常由海百合、腕足类、苔藓类和珊瑚等组成。

第二节　各类沉积环境条件的古生物标志

沉积环境是由诸如水体的含盐度、深度、温度、浊度、动荡强度、底部条件、气候等各种因素组成，这些环境因素也可称为沉积环境条件或环境要素。环境条件决定了沉积环境的特征，是恢复古地理的关键所在，而各种环境条件的分析和判断除了借助岩性标志、地球化学标志之外，更需要生物化石这个极其重要的环境标志。

一、水体含盐度的古生物标志

正常海水的含盐度为35‰。海湾、淡化泻湖、内陆海、淡水湖泊的水体含盐度常<35‰。咸化泻湖、咸水湖泊、炎热干旱气候条件下的海湾、内陆海等，水体含盐度常>35‰。不同门类的生物对盐度的适应能力不同，因此它们是水体含盐度的良好标志(图14-6)。常见的生物门类如钙质红藻、钙质绿藻、有孔虫类的链亚目、钙质海绵、古杯类、珊瑚、层孔虫、苔藓虫、腕足类、棘皮类、软体动物的头足类、节肢动物的三叶虫等都属于狭盐性生物，或称固定盐度生物。它们只生活于正常盐度的海洋环境，又称为海相狭盐性生物。在岩石中若发现上述这些门类未经搬运的原地埋藏的化石，则表明沉积环境为海洋环境。另有一些常见的生物门类如蓝藻、硅藻、普通海绵、钙质蠕虫管、瓣鳃类、腹足类、介形虫等属于广盐性生物或称为盐度变化的生物，它们对盐度变化的适应能力强，仅根据这些生物的大类很难判断水体的盐度和沉积环境。但若进一步研究这些门类生物的不同种属，就有可能判断水体的盐度和环境。如中生代的介形虫基本上都属于速足亚目(Podocopa)，但不同的科可分别出现于海水、淡水和半咸水(表14-1)，而且淡水生活的种属壳面光滑、壁很薄，铰合构造简单，海洋生活者与前者不同。又如硅藻有些属只生活于海洋环境，另有一些只出现于淡水环境(图14-7)，有的能适应盐度多变的泻湖、河口等过渡环境。软体动物门的瓣鳃类和腹足类是典型的广盐性生物，但不同亚纲或亚目可生活于不同盐度的环境中(图14-8)。

典型的半咸水生物皆属于广盐性生物，而典型的超咸水生物在大的类别上与半咸水生物无大的差别，在盐度更高的超咸水盐湖中，仅见到少数藻类。淡水生物群除轮藻外，还常见有广盐性的蓝藻、硅藻、瓣鳃类、腹足类、介形虫、蠕虫管等。

利用生物的分异度也可以判断水体的盐度变化。所谓生物的分异度是指岩层中生物群种类多样化的程度。岩层中生物群种类的数目称为简单分异度；在岩层中既考虑生物种类数目又统计每个种类生物个体的数量称为复合分异度。生物群的种类、个体数量随着环境中水体的盐度和深度等条件的改变而发生明显的增减趋势。海岸环境中生物分异度的高低主要反映盐度变化，分异度高，盐度趋于正常(图14-9)。海相狭盐性生物随盐度趋于正常而种类数目增加，偏离正常盐度则数目逐渐减少；广盐性生物种类在正常盐度环境中，海生种类多、陆生种类少；内陆河湖环境生物种类随盐度增高而减少，盐度低的生物种类多；淡水生物或海生生物在过渡环境中种类减少，在盐度有周期性变化的环境中生物种类稀少。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

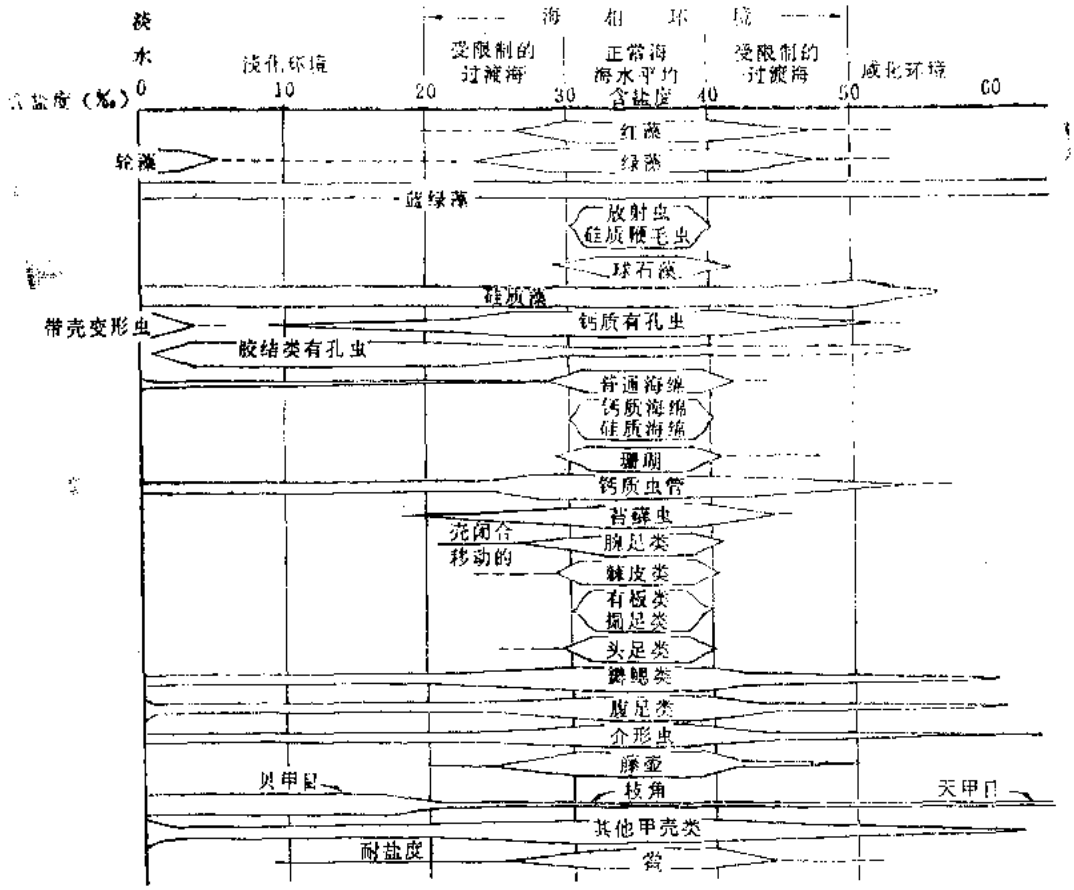


图14-6　生物的耐盐性与水体含盐度的关系(据P·H·Hckel，1972)

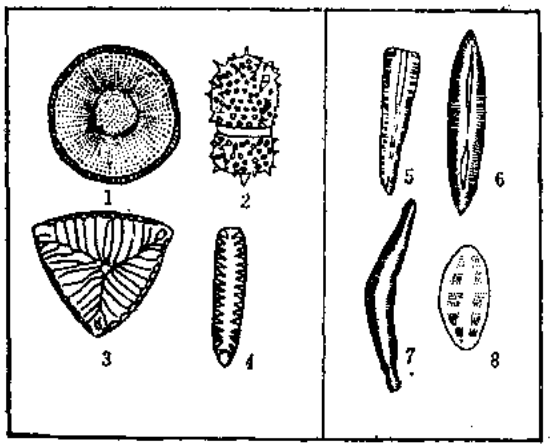


图14-7　海洋与淡水硅藻(据同济大学，1974)
1—4为海生硅藻；5—8为淡水硅藻

类别		陆相(淡水)	过渡相(半咸水)	海相(海水)
腹足纲	前鳃亚纲			
	后鳃亚纲			
	有肺亚纲			
瓣鳃纲	栉齿目			
	异柱目			
	裂齿目			
	异齿目			
	系齿目			

图14-8　腹足纲和瓣鳃纲的环境分布
(据同济大学，1974)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

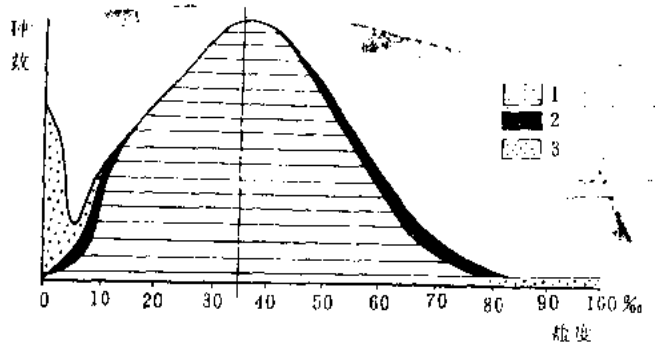


图14-9　生物分异度与盐度关系变化示意图(据Khlebovich，1969)

1—海相动物种；2—半咸水种及生活在河口的广盐性海相种；3—陆相动物种

表14-1　介形虫主要科的生态分布(据同济大学，1974)

亚目	科	亚科	环境	
	达尔文介科 Darwinulidae		淡水至微咸水	
	土筷子介科 Bairdiidae		海水	
速足亚目	金星虫科 Cyprididae	金星介亚科 Cypridinae	淡水为主	淡水，半咸水及海水
		玻璃介亚科 Candoninae		淡水至微咸水
		似星介亚科 Paracyprididae		海水
		圆星介亚科 Cyclocypridinae		淡水
		海星介亚科 Pontocypridinae		海水
		土星介亚科 Ilyocypridinae		淡水及微咸水
		女星介亚科 Cyprideinae		淡水至半咸水
玻足亚目	女神虫科 Cytheridae	女神介亚科 Cytherinae	海水为主	海水为主，有些半咸水
		半神介亚科 Hemicytherinae		海水
		粗面介亚科 Trachyleberidinae		海水
		丽神介亚科 Cytherideinae		海水为主，有些半咸水，淡水罕见
		尾神介亚科 Cytherurinae		半咸水及海水
		弯贝介亚科 Loxoconchinae		大多为海水，少数半咸水
		湖花介亚科 Limnocytherinae	淡水为主	淡水
		海神介亚科 Bythocytherinae		海水
		异口介亚科 Paradoxostominae		海水

二、水体深度的古生物标志

水体的温度、压力、透光度、含氧量等因素与水生生物的生存密切相关，而这些因素随水体的深度变化而变化。水体的深度不同，生物的种属和数量也就显示出明显的差别。因此利用古生物资料可以有效地判断水体的深度。

Heckel(1972)曾研究过水体深度与生物门类分布的关系(表14-2)。一般说来，0—50m水深主要生活着大量藻类、底栖有孔虫、瓣鳃类、腹足类、造礁珊瑚、钙质海绵、无铰腕足类等；100—200m水深主要是苔藓虫、有铰腕足类、棘皮类的海胆等；200m以下水深主要为海百合，硅质海绵，薄壳腕足类和细枝状苔藓虫等。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

表14-2 生物门类与水体深度的关系(据Heckel，1972)

古生物	大陆	边缘海		浅海					深海				
		潮上	潮间	10	30	50	100	200	300	1000	2000	>2000米
蓝绿藻												
松藻												
粗枝藻												
轮藻												
颗石藻												
珊瑚藻												
底栖有孔虫												
浮游有孔虫												
放射虫												
钙质海绵												
玻璃海绵												
普通海绵												
水螅类												
两性珊瑚												
包壳苔藓虫												
枝状苔藓虫												
腕足类												
龙介类												
掘足类												
腹足类												
双壳类												
介形虫												
棘皮类												

不同类型的藻体，生活的水体深度亦不相同(图14-10)。一般情况下，潮间带主要为蓝藻，潮下带主要为绿藻，其生活的水深一般为12—15m，最大达80—100m，水深在100—250m间主要为红藻，水深>250m主要为颗石藻。另外叠层石的类型也可作为水深的标志(见图2-7)。

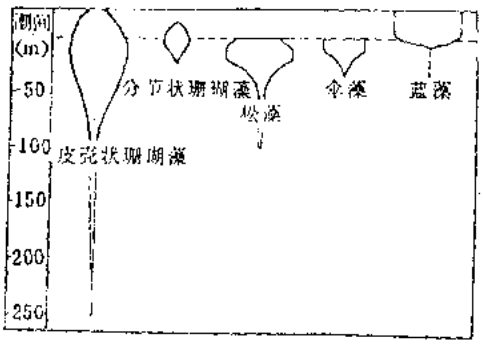


图14-10 现代海生钙藻主要类型与水深的关系(据J.L.wray，1977)

在热带至温带海域的底栖有孔虫随海水深度的变化表现出明显的分带性(见表3-3)，层孔虫、珊瑚、苔藓虫等生物的不同类型与水体深度的关系密切(见表5-1、5-4、6-1)，它们都是判断水体深度的良好标志。

遗迹化石也可以作为水深的标志，因为由浅水至深水可出现不同的遗迹相(见图13-8)，根据遗迹相即可推断水深。

生物的分异度亦能反映水深，浅海陆棚环境生物分异度的高低主要反映深度变化，分异度高则深度加大。

三、水体温度的古生物标志

水体温度对水生生物群有巨大影响。大部份海洋生物属于冷血动物，或称外温动

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

物，即当外界温度改变时，它们不能调节自己的体温，而只能局限于一定温度范围内生存，故又称窄温性动物。由于它们对温度变化适应能力的差异，因而可成为判断水体温度的标志。然而水体的温度往往与纬度和气候有密切关系，生物的不同类型和数量又可成为古纬度和古气候的判断标志。如地处低纬度地区的马来西亚海生动物约有4万种，而在高纬度地区的拉普帕夫海仅有400种左右(表14-3)。远洋有孔虫在热带可达20种，而在冷水中总共只有1—2种。

表14-3 不同气候带海洋与生物种数统计(据南京大学)

海区名称	拉普帕夫海	喀拉海	巴伦支海	英国沿岸	地中海	马来西亚
气候带	北极寒带	北极寒带	北温带北部	北温带南部	北亚热带	热带
生物种数	400	1 200	2 000	3 000	7 000种以上	40 000

造礁珊瑚是水体温度的良好标志，其生活的温度不低于18℃，通常在赤道南北30°以内最发育，珊瑚礁的出现不仅是古水温的标志，而且也是古纬度、古气候的标志。图14-11表示中生代以来欧洲东南部珊瑚礁分布的最北界，说明随着时间的推移，赤道和热带气候逐渐向南移动的情况。

温度对有些生物的个体大小、壳体厚薄都有一定影响，因此生物的这些特征反过来也可作为水温的标志。如在温暖水中的抱球虫个体较大，在冷水中抱球虫的个体较小。在热带和亚热带海洋中碳酸钙分泌较容易，厚壳、多纹饰的生物往往能大量出现。

藻类与温度和气候也有密切关系，绝大多数海生绿藻和红藻主要生长于热带和亚热带温暖的海水中(见表2-1)，而硅藻则大量生长于寒冷地区。

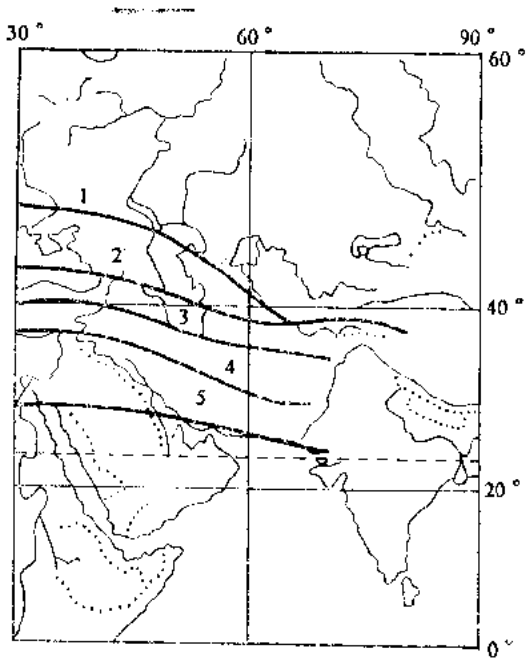


图14-11 中生代以来欧洲东部珊瑚分布的最北界线(引自杨式溥，1983)
1—侏罗纪；2—白垩纪；3—中新世；4—更新世；5—现代

四、水动力强度及水流方向的古生物标志

波浪、潮汐和水流作用可引起水体强烈运动，造成水动力强度较大的高能环境，它们多出现于波浪基准面以上的潮下浅水地带。相反在泻湖、海湾和波基面以下的深水区，潮汐、波浪等因素影响较微弱，造成了水动力强度较弱的低能环境。这些可根据生物化石保存的完整程度、磨损破碎情况、分选性、排列状况、化石组合等结合其他资料进行判断。

水动力强度弱的安静低能环境生物保存较完整，有的关节、铰合尚未脱落，化石个

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

体保持自形(完整)或半自形(较完整)，其轮廓清晰，未磨损或弱磨损，生物个体多未经分选，大小混杂，排列不规则，化石组合多为原地埋藏的生态组合(静水组合)。

水动力强度较大的高能环境生物化石保存不完整，双瓣壳的生物双瓣分散，两瓣数量比例不等，个体破碎程度高，多为他形颗粒，外形为中度至强度磨损，化石颗粒大小均匀，分选好，化石组合为异地埋藏的水力组合类型。当然，在应用化石的保存、磨损，分选等判断水动力条件时，应当首先排除本章第一节中所述的各种因素的干扰。

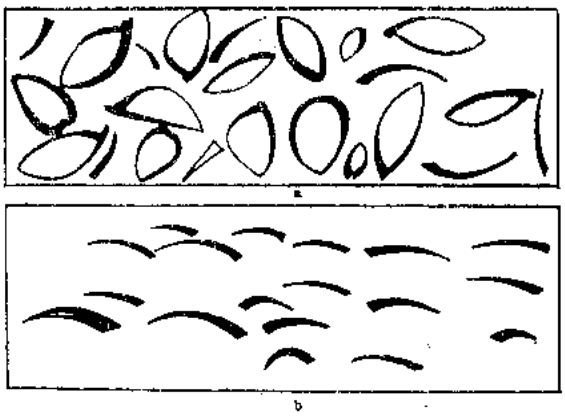


图14-12 不同水动力条件下腕足类介壳排列方位(据施罗克，1950)
a—就地堆积； b—长期地再沉积介壳

双瓣类的瓣壳排列方位也能反映水动力状况。如果水流强度大，瓣壳经过搬运再沉积，凸起的一面朝上；如果为杂乱排列，表示无搬运作用发生(图14-12)。

造礁生物的生长形状也可反映沉积环境中波浪能量和沉积作用的高低(表14-4)。根据对现代海洋中六射珊瑚的观察，即便是同一种属(如Madreporaphan-wanis)，生活海港内静水环境和生活在港外波浪作用强烈地区的群体，在形态上也显示出很大的差异。波浪地带的群体呈块状、蘑菇状，分枝短粗；静水区的群体则细长，呈松散的分枝状。

表14-4 造礁生物生长形状与环境的关系(据N.P.Jams，1975)

生长形状	环境	
	波浪能量	沉积作用
纤细的，分枝的	低	高
薄的，脆弱的，平板状的	低	高
球状的，球茎圆柱状的	中等	高
强壮树枝状的	中等—高	中等
半球状的，穹状的，不规则状的，块状的	中等—高	低
结壳状的	强烈	低
薄板状的	中等	低

微体生物壳体的外形往往也是水动力条件的重要标志。贵州早二叠世栖霞晚期鲢类古生态的研究(王立亭等，1981)表明，内部构造一般较为简单、壳体呈球形或近球形的A型鲢类是低能环境的产物；内部构造较复杂、壳体呈纺锤形或椭球型的B型或C型鲢类，是中等能量环境的产物；内部构造复杂、壳体呈长纺锤形的D型鲢类，是高能环境下的产物(图14-13)。

有些长形锥体化石的排列还可以判断水流方向，如竹节石、直壳角石类、翼足类、海胆刺等化石作有规律的排列时，其锥形顶端的指向与水流方向相反，因为只有如此排列才是减少阻力的优选方位(图14-14)。长形锥体化石如直角石等，往往在大壳中套着

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

壳科外形	圆球形或近圆球形（A型）	粗纺缍形（B型）	纺缍型（C型）	长纺缍形（D型）
图　形				
代表属	Sphaerulina	Miselina	Cancelline	Parafuslina
轴　率	<1，近于1	1　2:1	2　3:1	3:1或>3:1
与水底底面接触情况	接触面小	接触面大	接触面大	接触面最大
绕流时产生的压力差	压力差大	压力差次之	压力差弱	压力差最弱
被流水搬运的难易程度	易被搬动	次易被搬动	不易被搬动	最不易被搬动
壳的抗浪性能	抗浪性弱易破碎	抗浪性次弱破碎程度中等	抗浪性强弱破碎	抗浪性最强不易破碎

图14-13　箴壳外形与水动力的关系(据王立亭等，1981)

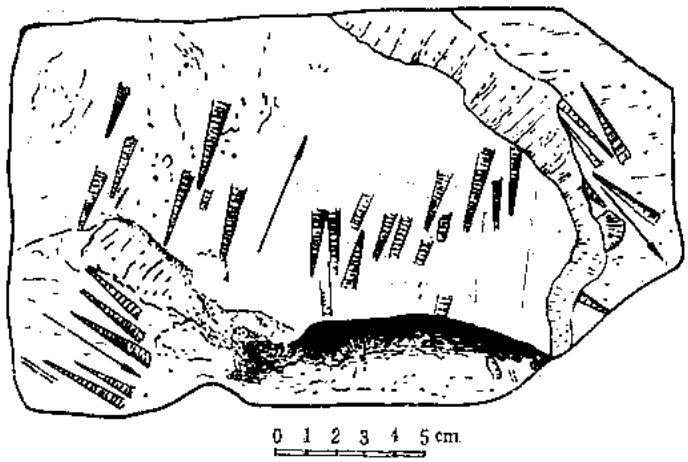


图14-14　竹节石排列和水流方向一致，箭头指向水流方向(据金德尔，1938)

小壳，这种情况下壳体的尖端指向水流方向，原因是只有迎着水流方向，水流的动力才能推动壳体向前移动，并使直径大小不一的壳体套在一起。

五、水体浊度的古生物标志

水体的清澈和混浊程度不同，生活在该水体中的生物门类或种属亦有差别，因此有些生物化石又可作为水体浊度的标志。各类无脊椎动物及藻类与水体混浊度及沉积速度的关系见图14-15。

藻类植物生长需要进行光合作用，因此多数藻类的生活需要透光度好的清澈水体。大多数食悬浮物的滤食性无脊椎动物多生活在浑浊度低的较清澈的水体，因为悬浮的粘土和粉砂量太多，将堵塞或阻滞生物的细小摄食器官而不利于生物的生存。有些食悬浮物的生物，如具分泌管穴的蠕虫、某些腕足类及瓣鳃类动物等，摄食器官能够排除不需要的杂物，则可以忍受中等程度的浑浊度。所有食悬浮物的生物化石的存在，都表明

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

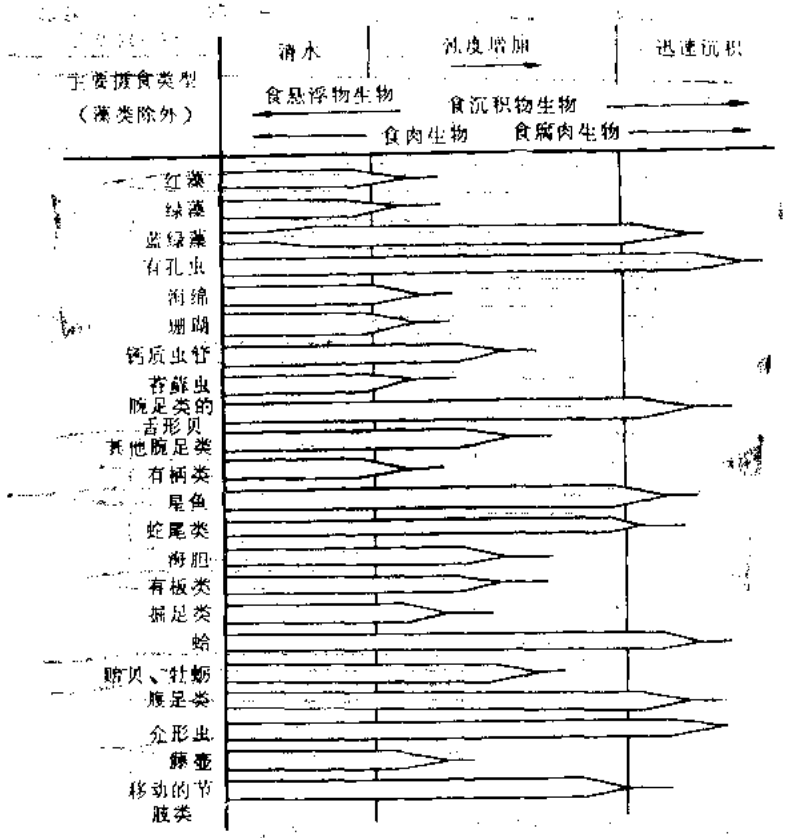


图14-15 各生物门类与水体浊度及沉积速度之间的关系(据P.H, Heckel, 1972)

有提供养料的潮流活动。食沉积物的泥食生物，如蠕形动物、棘皮动物的蛇尾类、某些瓣鳃类及腹足类等，由于它们的摄食器官已适应从沉积物中摄取养料，故能适应更大的浑浊度。食肉动物和食腐肉动物，如海胆、腹足类、介形虫及某些节肢动物等，也能在浑浊度较大的海水中生存。

六、沉积底质性质的古生物标志

沉积底质的性质指生物生活时期沉积界面的特征，如泥、砂、坚硬岩石底质等。底质不仅能控制底栖生物的固着和运动方式，而且也控制着生物的营养和食性类型。因此不同类型的生物化石能反映沉积底质的性质。各生物门类与沉积底质的关系见图14-16。

蓝藻、绿藻、红藻、群体珊瑚、苔藓虫、某些有铰腕足类、棘皮动物、某些软体动物、藤壶、以及某些钻蚀生物，都需要坚硬的底质，以便固着生活或营钻蚀穴居。藤壶、牡蛎等生物的出现表明为受拍岸浪冲击的滨岸潮汐带的坚硬底质。群体珊瑚和红藻等化石反映了海水动荡的坚固底质。某些移动底栖生物，如无铰腕足类、蛇尾类、掘足类以及某些瓣鳃类、介形虫以及移动底栖的节肢动物等组成的化石组合，有力地说明为松软的底质，尤其在固着底栖和钻蚀底栖生物缺乏的情况下，更能说明这一点。某些移动底栖生物，如有些腹足类、介形虫、三叶虫等能在各种底层上爬行，它们虽不能说明底质的坚硬程度，但这些生物化石组合可能作为迅速沉积区或流砂层等底质的标志。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

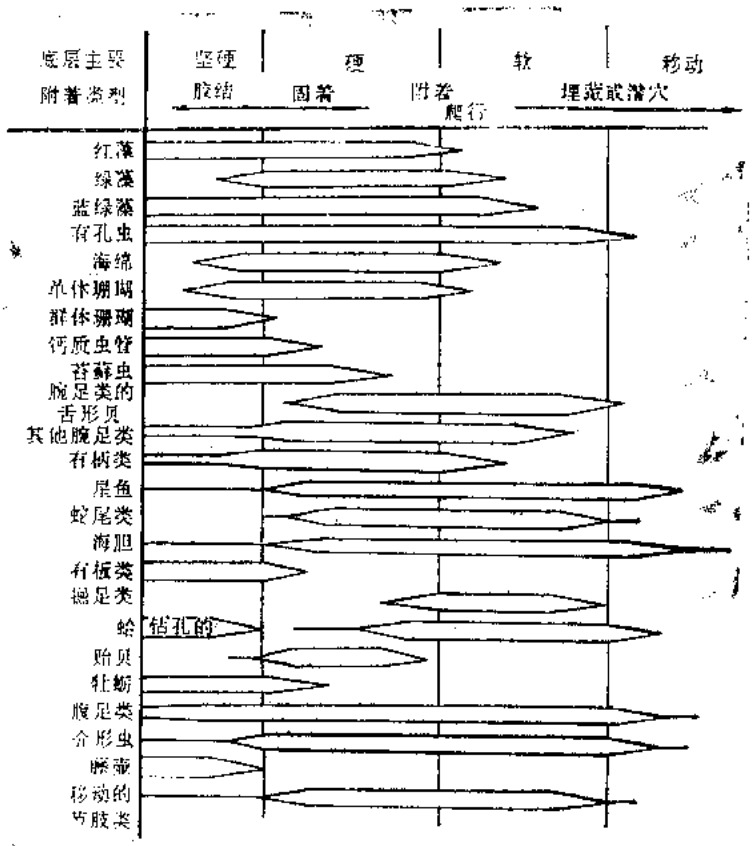


图14-16　各生物门类与沉积底质的关系(据P.H.Heokel，1972)

第三节　各类沉积相常见的化石组合

沉积相是各种沉积环境条件的综合，不同的沉积环境条件有其特征的古生物标志，因此不同的沉积相类型必有其特征的古生物组合。

海相和非海相环境有显著差别，其生物组合亦有明显的不同(图14-17)。无脊椎动物在海相中最为多见，常见的门类为有孔虫、放射虫，腔肠动物、苔藓动物、腕足动物、头足类、笔石、三叶虫和棘皮动物等。非海相无脊椎动物常见的有瓣鳃类、腹足类、介形虫、昆虫等。在低等植物的藻类中，红藻及绿藻门中的粗枝藻科和海松藻科为海相，轮藻和部份蓝藻及部分绿藻为非海相环境产出。

在海相和非海相中又包括许多各具特征的沉积相类型，它们亦各自有着不同的化石组合，现分述如下。

一、大陆相组的化石组合

1．河流相化石组合

由于河流中水体经常流动，动物遗体不易保存，故一般在河床亚相中很少有动物化石，即使是植物化石也较少，而且也很少有完整者。在煤系地层的河床亚相中可含有较多的植物碎片，并可见硅化木化石。硅化木的排列方向可指示水流方向。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

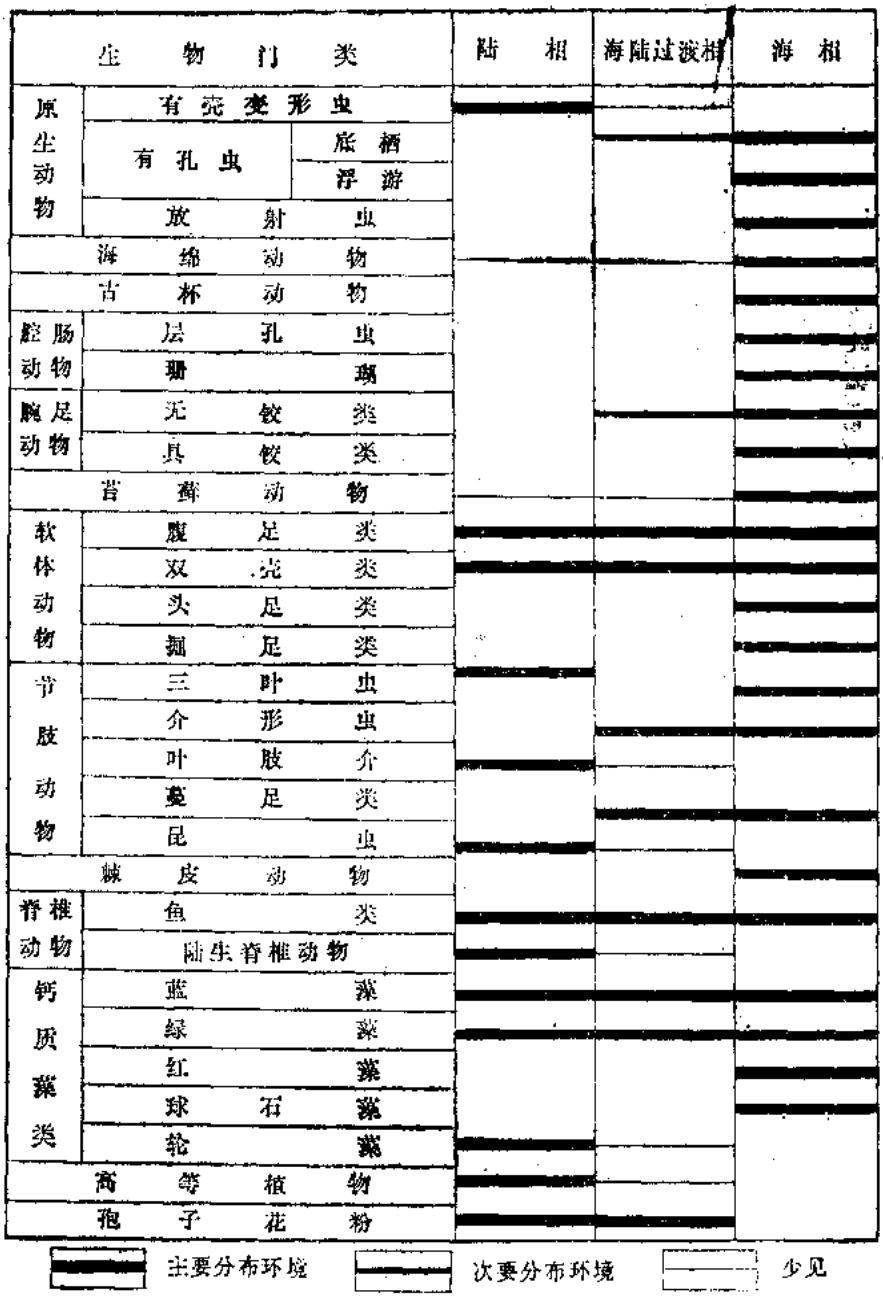


图14-17 主要化石门类的环境分布(据同济大学地质系，1974 略修改)

河漫滩亚相中，一般缺少动物化石，仅见有植物碎片。在河流顶层沉积的河漫沼泽和河漫湖泊的泥岩中，有时可见完整的动植物化石。在牛轭湖沉积中，常见有瓣鳃类、腹足类及植物的叶片等化石。

2．湖泊相化石组合

淡水湖泊相常含有丰富的瓣鳃类、腹足类、介形虫、叶肢介、鱼类、昆虫等化石，并常含有高等藻类如轮藻、低等藻类如蓝藻等。在滨湖沉积中，化石较少，可见有蓝藻、植物碎片；浅湖沉积中动物化石丰富，种类和数量较多，尤以薄壳的腹足类、瓣鳃类、介形虫、叶肢介、鱼类为主，植物化石数量大为减少而且不完整。深湖沉积

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

中，底栖生物化石贫乏或绝迹，而常见有介形虫、叶肢介、鱼类等游泳生物的化石类别。

我国松辽盆地白垩纪内陆淡水湖泊沉积中化石丰富，已知有800多种，除极少数类别可以生活于半咸水者外，绝大多数为淡水类别，充分显示为淡水生物组合(图14-18)。

生物类型 / 层位	陆生生物					水陆两栖生物		水生生物																
	植物		恐龙	鳄	昆虫	鳄	龟鳖类	浅水沼泽		淡水									淡水或半咸水			微咸水	
	叶	碎屑						小叶藻	巴尔姆孢	轮藻	叶肢介	腹足类	蚌类	蚬类	女星虫	上神虫	湖花虫	玻璃虫	短齿虫	藻	二区肋鲔	松花鱼
明水组		○								⊗	○	⊗	⊗	⊗	⊗		⊗	⊗					
四方台组										⊗		⊗	⊗	⊗	⊗			⊗					
嫩江组	□	○			△	○	○	⊗	○	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		○	○		○	○
姚家组		○					○		⊗	⊗	⊗		⊗	⊗	⊗			□		□		
青山口组	□	○	△	△	△	○	○		⊗	□	⊗	□	⊗	⊗	⊗			□		○		
泉头组	□	○						○		⊗	□		○	○	⊗			□				
登娄库组	□	○								△	△											

△ 极少　□ 少量　○ 常见　⊗ 大量

图14-18 松辽盆地白垩系生物化石组合(据王衡鉴、周书欣，1984)

我国山东临朐山旺地区第三纪中新世内陆湖泊沉积中，已发现有十多个门类近200种动植物化石都属于淡水种属和陆生动植物。山东平邑盆地下第三系官庄组地层中见有大量蓝藻、轮藻、薄壳腹足类等化石，亦属于淡水湖泊的生物化石组合。

二、海相组化石组合

1．海相碳酸盐岩沉积环境的化石组合

目前碳酸盐岩沉积相的相模式繁多、相的划分方法各异，各家的观点已超出本书的讨论范围，这里仅从环境条件和生物发育特征考虑，分别按碳酸盐岩潮坪相、台地相、台地边缘相、开阔陆棚相、盆地相来介绍它们的化石组合。

(1) 潮坪相化石组合

潮坪相包括潮上带和潮间带。潮上带由于经常暴露于地表或盐度偏高，因而原地生物极为稀少，仅有蓝藻或部份绿藻形成的纹层状或波纹状藻叠层，可见有介形虫、腹足类碎片，垂直生物潜穴等遗迹化石较为常见。潮间带也常发育叠层石，但形态上与潮上带不同，可出现柱状、包心菜状，无脊椎动物的小型薄壳有孔虫、介形虫较常见，遗迹化石常见垂直生物潜穴、生物扰动等构造。

(2) 台地相化石组合

碳酸盐台地包括局限台地和开阔台地，前者为礁、滩所限制的泻湖和局限海湾，后者为古陆包围的克拉通内部范围广阔的海域。

局限台地水体的盐度变化较大，如环礁中的泻湖，可以是正常盐度，也可以是淡化的和超咸水的。因此，化石组合以广盐性生物为主，如蓝藻、腹足类、瓣鳃类、介形虫，

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

此外可见绿藻、有孔虫、苔藓类等。

开阔台地海域面积广阔，可达数千平方公里，环境已接近于开阔海洋，生物化石组合除常见有腹足类、瓣鳃类、绿藻、海绵、甲壳类、有孔虫之外，还可见有红藻、腕足类，棘皮类等化石。

(3) 台地边缘相化石组合

台地边缘常发育生物礁和边缘浅滩，为浅水高能的水动力环境。

礁相的生物化石组合主要由造礁生物和非造礁的附生生物(附礁生物)两部份组成。造礁生物多是繁殖生长迅速、能分泌大量钙质的固着底栖的群体生物，常见者主要为群体珊瑚、层孔虫、钙质海绵、古杯类、树枝状苔藓虫、厚壳蛤、蠕虫动物、钙质红藻和部份钙质绿藻、蓝藻等。但不同时代发育的造礁生物不同。元古代至古生代的礁相化石组合主要由蓝藻、海绵、古杯类组成。志留—泥盆纪礁相化石组合主要为珊瑚、层孔虫。晚古生代礁相的化石组合除珊瑚、藻类外，苔藓类也是造礁生物的重要成员。中生代礁相化石组合为珊瑚、海绵、厚壳蛤。新生代以来最繁盛的造礁生物为珊瑚和钙质红藻。在各期的礁相化石组合中，除了主要造礁生物以外，还见有非造礁的附生生物。常见的有：有孔虫、部份软体动物、棘皮类、腕足类以及部份节肢动物等，它们曾分别参与不同时代的礁相化石组合。我国西南地区海相碳酸盐岩地层发现有台地边缘生物礁，如贵州独山中泥盆统生物礁，化石组合以层孔虫为主，次为床板珊瑚、腕足类、棘皮类及少量瓣鳃类、介形虫等。

台地边缘浅滩由于是浅水高能环境，水动力作用强，底质经常移动，一般很少有原地生长的生物堆积，故其化石组合多是异地埋藏的大型腹足类和瓣鳃类碎屑、藻类节片和有孔虫以及珊瑚、腕足类、棘皮类碎屑等。

(4) 开阔陆棚相化石组合

开阔陆棚是面积广阔、盐度正常、循环良好的陆棚浅海，正常海相的生物群极为繁盛。因此，化石组合中有代表各种正常盐度的生物化石，尤以海相狭盐性生物化石最为丰富，如腕足类、珊瑚、头足类、棘皮类、部份节肢动物等，此外还可见有孔虫、钙质海绵骨针、介形虫、部份软体类动物等。如湖南中泥盆统棋盘子组浅海陆棚碳酸盐沉积，其生物化石组合以腕足类、棘皮类、有孔虫、介形虫、腹足类、钙质海绵骨针为主，次为珊瑚、苔藓虫。

开阔陆棚相的遗迹化石主要为倾斜或近水平的复杂潜穴以及觅食和进食痕迹。

(5) 盆地相化石组合

盆地相包括深海和次深海盆地。生物化石组合主要由自游及浮游生物组成，常见的有放射虫、硅藻、颗石藻、抱球虫、钟纤虫、翼足类，此外可有菊石、竹节石、海绵骨针、棘皮类等。生物遗迹化石主要为某些蠕虫类、软体类、棘皮类等深水居住生物形成的复杂的网状、螺旋状爬行迹和觅食痕迹和牧迹。

2. 海相碎屑岩沉积环境中的生物化石组合

(1) 滨岸相化石组合

滨岸相属海滩环境，包括后滨、前滨和近滨带。该区环境变化较大，潮汐、波浪淘洗作用强烈，完整生物化石较少，常是异地海生动物介壳碎屑及陆生植物碎片，而且多是经过水力分选。遗迹化石见垂直潜穴及生物扰动构造。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

（2）浅海陆棚相化石组合

浅海陆棚泥页岩和细碎屑岩常含有正常海相生物化石，如腕足类、三叶虫、笔石、有孔虫，此外可含有各种广盐性的生物类别，如瓣鳃类、腹足类、介形虫等。对于喜欢生活于清澈海水中的生物，如珊瑚、层孔虫、海绵动物、苔藓动物、棘皮类等，在浅海陆棚碎屑岩中的数量要比在海相碳酸盐岩沉积环境中少得多。

（3）半深海及深海相化石组合

深海和半深海环境由于水深，光线不能到达海底，底栖生物极为稀少，藻类无法生存，只有远洋表层水体中繁盛的浮游和自游生物死亡后可堆积于深海底。因此深水环境的生物化石组合主要由远洋的浮游和自游生物组成，常见的有颗石藻、硅藻、放射虫、掩球虫等。此外还可出现各种深水薄壳底栖生物如菊石、竹节石、瓣鳃类、腕足类以及硅质海绵骨针等。

三、海陆过渡相组化石组合

1．三角洲相化石组合

三角洲是河流和海洋共同作用的产物，其生物化石的组合最大的特点是海生和陆生生物化石混生现象较为明显，沿三角洲轴向由海向陆方向海相和陆相生物化石的种属和数量亦作有规律的变化。在近海的三角洲前缘及前三角洲亚相，海相化石的种属和数量明显地大于陆相生物化石，主要为有孔虫、介形虫、腹足、瓣鳃、苔藓、海胆类等，陆相生物化石有陆相介形虫、植物碎片等。靠陆方向的三角洲平原亚相，陆相生物化石大为增加，常见有陆相介形虫、植物的根及碎片，海相生物化石数量减少，常见有壳体较小的介形虫及腹足、瓣鳃类等。

我国长江三角洲现代长江口地区有孔虫（埋藏群）从长江口外至江口上段由数十种降至十几种，淡水中则为有壳变形虫（图14-19）。从河口下段至河口上段，介形虫组合也作有规律的变化（图14-20）。

2．河口湾相化石组合

河口湾相生物化石具有典型的海陆混生的特征。主要为海相或半咸水的底栖有孔虫、鱼类、多毛类虫管、甲藻及淡水的介形虫、腹足类、瓣鳃类、叶肢介、轮藻等。生物的空间分布呈现为从河口上段至入海处，海相有孔虫和介形虫的狭盐性种类有逐渐增加的趋势。

3．泻湖相生物化石组合

泻湖相中广盐性生物发育，种属少、数量多、体小、壳薄，并常有海相、陆相生物混生现象。因此，化石组合中具大量广盐性生物如介形虫、腹足类、瓣鳃类、蓝藻及部份硅藻等，陆相生物中有河流搬运来的植物碎片、轮藻藏卵器，海相生物中有潮水带入的强烈磨蚀的海相有孔虫等。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

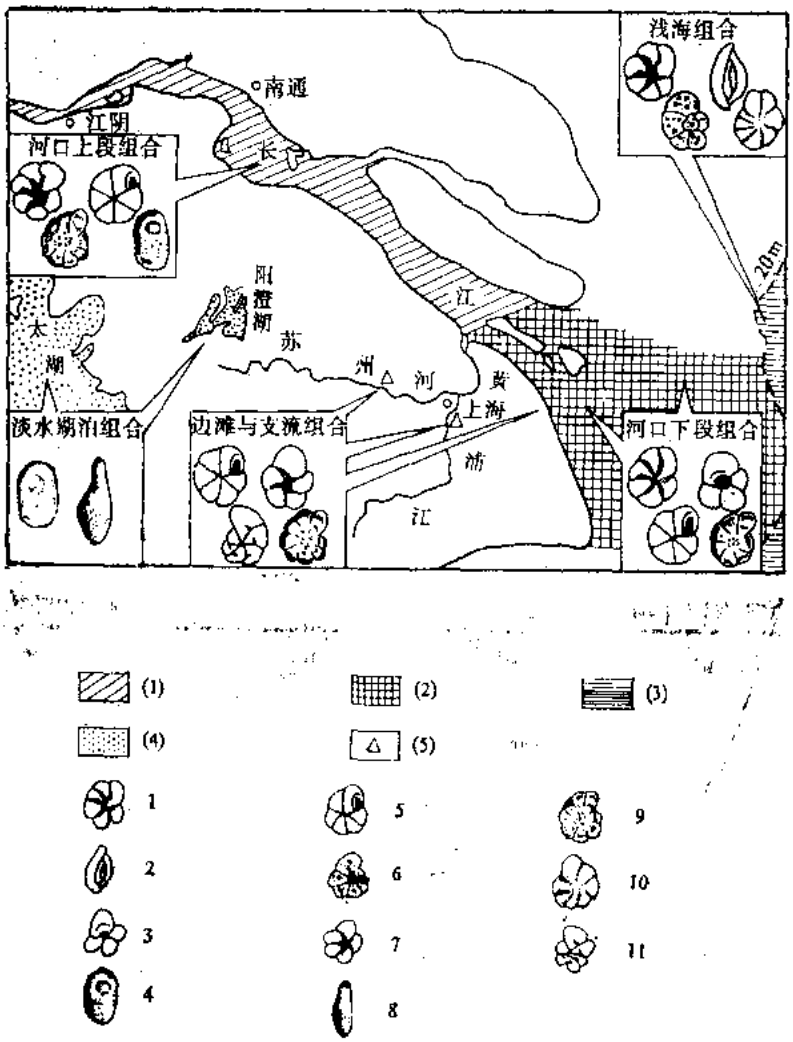


图14-19　长江口有孔虫带壳变形虫组合分布示意图(据同济大学，1974)

(1) 河口上段组合；(2) 河口下段组合；(3) 浅滩；(4) 淡水湖泊组合；
(5) —边滩支流组合(采样点)

1—毕克卷转虫*Ammonia Beccarrii*；2—粟米虫科*Miliotidae*；
3—浮游有孔虫；4—圆盒虫*Centropyxis*；
5—夸良小上口虫*Epistominellanaraensis*；6—胶结壳有孔虫；
7—玫瑰虫？未定种*Rosaliaa? sp*；8—砂壳虫*Difflugia*；
9—先希望虫*Protelphidium*；10—希望虫*Elphidium*；
11—假上穹虫*Pseudoeponides*；

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

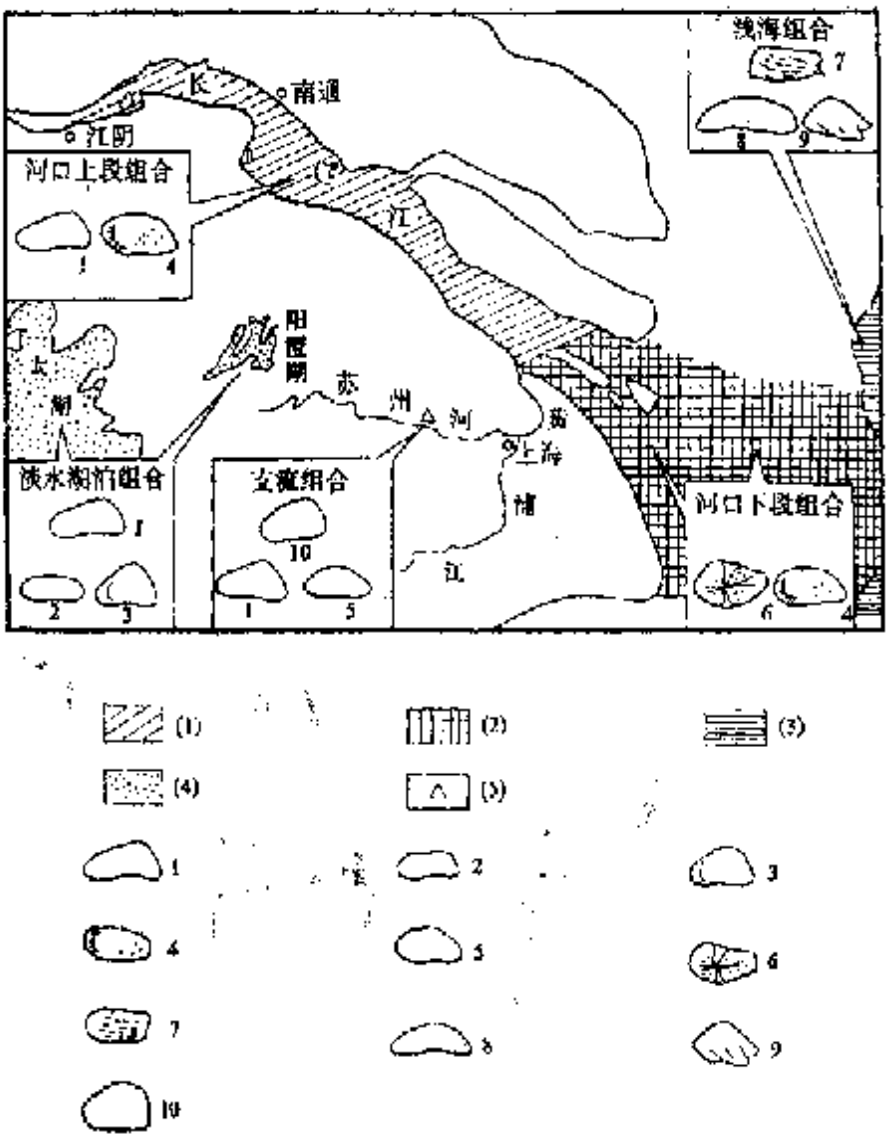


图 14-20 长江口介形虫组合分布示意图(据同济大学，1974)

(1) 河口上段组合；(2) 河口下段组合；(3) 浅海组合；(4) 淡水湖沼组合；(5) 支流组合；

1—玻璃介 *Candona*；
2—小玻璃介 *Candoniella*；
3—斗星介 *Cypridopsis*；
4—中华西花介 *Sinocytheridea*；
5—真星介 *Eucypris*；
6—新单角介 *Neomonoceratina*；
7—德潘介 *Cytheretta*；
8—古单眼介 *Gushmanidea*；
9—狭神介 *Cytheropteron*；
10—高星介 *Cypria*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

参 考 文 献

〔1〕 余素玉编著(1982)：化石碳酸盐岩，地质出版社。

〔2〕 杨式溥编著(1983)：古生态学及遗迹化石学，武汉地质学院。

〔3〕 中国科学院地质研究所七室(1977)：化石岩石学，国家地质总局第二普查勘探大队内部组印。

〔4〕 武汉地质学院古生物教研室编著(1980)：古生物学教程，地质出版社。

〔5〕 门风歧、赵祥麟主编(1984)：古生物学导论，地质出版社。

〔6〕 华东石油学院岩矿教研室主编(1982)：沉积岩石学，石油工业出版社。

〔7〕 曾允孚、夏文杰主编(1986)：沉积岩石学，地质出版社。

〔8〕 刘宝珺、曾允孚主编(1985)：岩相古地理基础和工作方法，地质出版社。

〔9〕 同济大学海洋地质教研室编(1982)：海洋地质学，地质出版社。

〔10〕 同济大学海洋地质教研室编(1974)：海、陆相地层辨认标志，同济大学技术情报组编印。

〔11〕 成都地质学院沉积岩研究室编(1981)：沉积专辑，成都地质学院印刷。

〔12〕 安太庠等著(1983)：华北及邻区牙形石，科学出版社。

〔13〕 戴永定、蒋协光等(1977)：生物化石钙质结构的分类与演化，《地质科学》，1977年第3、4期。

〔14〕 曹瑞骥(1964)：中国前寒武纪几种新的古藻类化石及其地层意义，《古生物学报》，第12卷，第2期。

〔15〕 吴熙纯等(1977)：川西北龙门山前上三叠统生物礁的发现，《石油地质科技情报》，1977年，第二期。

〔16〕 王立亭(1982)：试论藻的古生态与古动力的关系，《石油与天然气地质》，第三卷，第三期。

〔17〕 王国忠等(1982)：海南岛和西沙群岛现代珊瑚礁基本沉积相带，《石油与天然气地质》，第三卷，第三期。

〔18〕 刘效曾(1983)：川西北中三叠统隐藻类碳酸盐岩特征及其环境意义，《沉积学报》，1983年，第1卷，第3期。

〔19〕 管守锐、白光勇(1985)：山东平邑盆地下第三系官庄组中段碳酸盐岩沉积特征及沉积环境，华东石油学院学报，1985年第3期。

〔20〕 曾允孚等(1983)：广西泗顶泥盆系上统融县组中核形石的类型及其环境意义，沉积学报，第一卷，第一期。

〔21〕 约翰、李、瑞著(1977)，李菊英等译(1982)：钙藻，地质出版社。

〔22〕 E·弗吕格尔主编(1977)，曹瑞骥等译(1984)：化石藻类，科学出版社。

〔23〕 J·D·米里曼著(1974)，中国科学院地质研究所碳酸盐研究组译(1978)：现代沉积碳酸盐第一卷，海洋碳酸盐，地质出版社。

〔24〕 W·S·麦克鲁主编(1978)，杨式溥译(1986)：化石生态学，科学出版社。

〔25〕 小泉格编(1978)，王开发、郭蓄民译(1984)：硅藻，地质出版社。

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

〔26〕 B·T·库兹涅佐夫著(1978)，李建温译(1983)：礁地质学及礁的含油性，石油工业出版社。

〔27〕 H·M·斯特拉霍夫主编(1957)，知平等译(1963)：沉积岩研究法(第一卷)，中国工业出版社。

〔28〕 Л·Б·鲁欣著(1959)，张智仁、周裕浦译(1963)：普通古地理学原理，中国工业出版社。

〔29〕 O·P·Majewske, Recognition of invertebrate fossil fragments in rock and thin sections, E·J·Leiden, Brill, 1969。

〔30〕 A·S·Horowitz, and P·E·Potter, Introductory Petrography of fossils, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New york, 1971。

附：生物化石碎片图版

图版Ⅰ

1．藻斑点：由泥晶方解石组成，斑点轮廓清晰，色暗，富有机质。山东平邑 E_{2-3} 单偏光 ×30

2．藻线纹：由泥晶方解石组成，曲直不一，色暗，富有机质，藻线纹间为浅色微粒方解石。山东平邑 E_{2-3} 单偏光 ×40

3．叠层石(藻叠层)：由明暗相间的纹层组成，暗层为泥晶方解石，富有机质，亮层为微粒方解石组成。山东平邑 E_{2-3} 单偏光 ×30

4．核形石：椭球形或不规则状，核心为藻屑灰岩，皮壳由同心状的藻纹层组成。山东平邑 E_{2-3} 单偏光 ×30

5．表附藻(*Epiphyton*)：具各种切面。藻体纵切面呈松柏枝状，二分叉，为实心的管状体，由泥晶方解石组成，色暗，管径约30μm，不分节，隐粒结构，横切面呈圆粒状。山东泗水 ϵ_{2z} 单偏光 ×30

6．葛万藻(*Girvanella*)：各种切面。藻体呈弯曲的细管状，彼此相互缠绕，管径约10μm，管壁具隐粒结构，管内为微晶方解石充填。河南渑池 ϵ_{2z} 单偏光 ×30

7．球松藻(*Sphaerocodium*)：纵切面。为皮壳状群体，由大致平行壳面的圆管层藻体叠积而成，管径约40μm，管壁隐粒结构。云南 D_2 单偏光 ×40

8．直管藻(*Ortonella*)：纵切面。藻体圆管形，长1mm，管径约40μm，壁厚约2μm，隐粒结构，向上密集生长，管内微晶方解石充填。贵州 T_2 单偏光 ×40

图版Ⅱ

1．米齐藻(*Mizzia*)：横切面。叶状体呈圆柱状，横切面为圆形，直径约1.5mm，钙壳厚约0.3μm，次生晶粒结构，侧枝孔垂直并贯穿钙壳，中央茎及侧枝间皆为泥晶充填，中央茎内还见有松藻碎片。川南 P_2 单偏光 ×30

2．始角藻(*Eogoniolina*)：斜横切面。节片横切面呈圆形，直径约1.4mm，钙壳厚约0.2mm，次生晶粒结构，侧枝孔椭圆形，泥晶充填。四川重庆 P_2 单偏光 ×30

3．始角藻(*Eogoniolina*)：纵切面。叶状体纵切面顶部膨大，下部收缩，直径约1.5mm，壳厚0.3mm，侧枝孔椭圆形，中茎及枝孔皆为泥晶充填。四川乐山 P_2 单偏

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

光 ×30

4. 蠕孔藻(*Vermiporella*)：纵切面。叶状体呈长圆柱状，长2.5mm，宽约0.5mm，钙壳薄，微粒结构，侧枝呈圆管形，垂直贯穿壳壁，孔径约10—20μm，泥晶充填。四川重庆 P_2 单偏光 ×30

5. 蠕孔藻(*Vermiporella*)：斜横切面。叶状体直径0.5mm，钙壳厚约60μm，侧枝孔呈圆管形，多而且密。 四川重庆 P_2 单偏光 ×60

6. 钙球(*Calcisphere*)：圆球形，直径约0.2mm，体壁薄，体腔为亮晶充填，充填物与体壁共轴生长，正交光下显十字消光 四川重庆 P_2 正交光×30

7. 钙球(*Calcisphere*)：圆形，壳壁薄，且已泥晶化，体腔为亮晶所充填。 四川乐山 P_2 单偏光 ×40

8. 松藻科(Codiaceae)：横切面。节片圆柱形，横切面圆形，直径约1mm，钙壳晶粒结构，丝体二分叉，垂直壳面，髓部见丝体，但钙化弱，见泥晶充填。 四川重庆 P_2 单偏光 ×30

图版Ⅲ

1. 仙掌藻(*Halimeda*)：纵切面。节片圆柱状，直径约0.6mm，长约2.4mm，髓部丝体密集，丝体粗，直径约40μm，向上生长，近皮层向外生长，节片全部钙化。照片上方有珊瑚藻碎屑。 美国弗罗里达 现代 单偏光 ×30

2. 珊瑚藻(*Corallina*)：纵切面。节片圆柱状，细胞呈矩形，由细胞丝体和横隔壁组成，丝体宽约10μm，横隔壁呈拱形，间距80μm，边叶状体薄而不明显，隐粒结构。美国弗罗里达 现代 单偏光 ×30

3. 蟹手藻(*Amphiroa*)：纵切面。节片短圆柱形，直径约1.2mm。叶状体强烈分化，下叶状体直径约0.6mm，细胞丝体呈矩形，隔壁相连呈拱形，间距长短不一，最长达0.1mm，最短20μm。边叶状体较宽，厚约0.3mm，形成带状包壳。细胞壁具隐粒结构。 美国弗里罗达 现代 单偏光 ×60

4. 让氏藻(*Jania*)：纵切面。圆柱状节片，由楔形连续细胞列组成，细胞丝体短，横隔壁间距约5—10μm。边叶状体不发育。 美国弗罗里达 现代 单偏光 ×40

5. 密孔藻(*Pecnoporidium*)：斜纵切面。叶状体树枝状，粗细胞丝体弯曲分叉，横隔壁不规则，构成细小网格，细胞壁为隐粒结构。左侧为有孔虫。 川南 P_1 单偏光 ×30

6. 管孔藻(*Solenopora*)：斜纵切面。叶状体纵向细胞丝体发育，横断面圆形，横隔壁不发育，间距大，约0.7mm。呈同心环带状。 四川 T_2 单偏光 ×40

7. 管孔藻科(Solenoporaceae)：斜横切面。纵向细胞丝体壁呈放射状，横隔壁不甚发育，具同心环带，细胞壁为隐粒结构。 广西浪平 C_2 单偏光 ×30

8. 拟刺毛藻(*Parachaetetes*)：纵切面。叶状体分叉呈树枝状，长约1mm，宽约0.5mm，细胞呈方形，网格状排列，纵向细胞壁与枝近于平行，横隔壁分布同一水平上，具隐粒结构。 （据戴永定） 四川长宁 P_1 单偏光 ×40

图版Ⅳ

1. 古石枝藻(*Archaeolithothamnium*)：横切面。细胞丝体壁及横隔壁似细点状，细胞近圆形，隐粒结构，横隔壁发育，间隔仅10μm，相互连成一线，细胞丝体壁不发

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

育。（据戴永定） 西藏亚东 K_1 单偏光 ×40

2. 二叠钙藻(*Permocalculus*)：弦切面。圆形，为皮下层钙化部份，丝体圆管形，孔径10-50μm。晶粒结构。（据戴永定） 四川绵竹 P_1 单偏光 ×30

3. 二叠钙藻(*Permocalculus*)：纵切面。钙壳厚约0.5mm，有细密而微弯曲的丝体穿过。丝体呈圆管形，孔径30--45μm。在皮下层斜向生长，相互交错，至皮层垂直壳壁，紧密排列。皮层厚60μm。晶粒结构，内腔由泥晶、亮晶充填。（据戴永定） 四川武隆 P_1 单偏光 ×40

4. 裸松藻(*Gymnocodium*)：纵切面。叶状体长约3.5mm，宽约0.8mm，钙壳厚约0.1mm，且被丝体贯穿。丝体斜向生长，孔径20μm，泥晶充填。钙壳具晶粒结构。四川重庆 P_2 单偏光 ×30

5. 翁格达藻(*Ungdarella*)：纵切面。叶状体分叉、交角小，细胞丝体宽约40μm，丝体壁较粗，可达10μm。横隔壁退化，仅在体壁边缘残留有棘状突起。细胞内泥晶充填。（据戴永定） 安徽铜陵 P_1 单偏光 ×40

6. 左旋轮藻目(Charales)：弦切面。直径约0.5mm，外部由五个左旋的螺旋管状细胞围绕，弦切面上可见旋脊。 山东平邑 E_{2-3} 单偏光 ×40

7. 左旋轮藻目(Charales)：横切面。直径约0.4mm，壳厚30μm，线纤结构，腔内亮晶充填。 山东平邑 E_{2-3} 单偏光 ×40

8. 球瓣虫(*Globivalvulina*)：斜切面。房室包卷，壳壁薄，具隐粒结构。 四川重庆 P_2 单偏光 ×30

图版Ⅴ

1. 内卷虫(*Endothyra*)：斜横切面。包旋壳，壳壁隐-微粒结构，色较暗。房室为亮晶充填。 安徽巢县 C_1 单偏光 ×30

2. 叶形虫(*Frondicularia*)：纵切面。壳呈叶片状，单列多房室，后一房室包裹前一房室之大部。具隐粒结构。 四川重庆 P_2 单偏光 ×30

3. 古串珠虫(*Palaeotextularia*)：纵切面。双列多房室锥形壳，隔壁交错生长，顶端加厚，壳壁具隐粒外层、纤状内层，房室亮晶充填。 安徽巢县 P_1 单偏光 ×30

4. 筛串虫(*Gribroenerina*)：纵切面。单列多房室，房室矮，口面具筛孔，具隐粒外层、正纤内层，房室为泥晶充填。右下角为海百合茎。 四川重庆 P_2 单偏光 ×30

5. 节房虫(*Nodosaria*)：纵切面。壳体由五个壳室依次包覆而成，后壳室包前壳室的三分之一。壳壁具玻纤结构。房室具亮晶充填。 四川重庆 P_2 单偏光 ×30

6. 巴东虫(*Padangia*)：斜切面，壳壁厚，具玻纤结构，房室亮晶充填。 四川重庆 P_2 ×30

7. 厚壁虫(*Pachyphloia*)：纵切面，壳梭形，有8个房室，壳壁中间较厚，隔壁较薄，具玻纤结构 四川重庆 P_2 单偏光 ×30

8. 柯兰尼虫(*Colaniella*)：斜切面。壳室呈复碗状，壳壁具玻纤结构。右下角为一瓣鳃类纵切面。四川重庆 P_2 单偏光 ×40

图版Ⅵ

1. 抱球虫(*Globigerna*)：各种切面。房室球形，锥状旋卷，壳壁薄，具玻纤结构，壳面具细刺。 牙买加 N 单偏光 ×40

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2．古纺锤蜓(*Palaeofusulina*)：斜纵切面。旋壁薄，色暗，致密隐粒外层和透明纤状微粒内层组成。隔壁强烈褶皱。　四川　P_2　单偏光　×30

3．希瓦格蜓(*Schwagerina*)：斜切面。长纺锤形，旋壁由致密隐粒外层和蜂巢微粒内层组成，隔壁强烈褶皱而不规则。　美国路易斯安娜州　C_3　单偏光　×30

4．新希瓦格蜓(*Neoschwagerina*)：横弦切面。壳圈多而密，旋壁由致密隐粒外层和微粒纤状内层组成，隔壁平直。　美国路易斯安娜州　P_1　单偏光　×30

5．钙质海绵骨针：为单轴双射、双轴四射，骨针为晶粒结构。　北京西山　C_2z　单偏光　×30

6．钙质海绵骨针：各种切面。为单轴双射及三轴五射骨针，圆形者为骨针横切面。具晶粒结构。　四川重庆　P_2　单偏光　×30

7．海绵体壁：体壁钙化强烈，晶粒结构，其间为泥晶充填。　四川　P_2　单偏光　×30

8．放射层孔虫(*Actinostroma*)：纵切面，细层水平状，清楚而连续。支柱粗而直，骨架呈方格网状，具纤状结构，柱廊为亮晶充填。　贵州独山　D_2　单偏光　×20

图版Ⅶ

1．棚珊瑚(*Dibunophyllum*)：横切面。为三带型四射珊瑚，具较粗大的中柱，隔壁具纤状结构。　安徽巢县　C　单偏光　×30

2．四射珊瑚碎片：纵切面。隔壁放大见明显的喷泉状线纤结构。　安徽巢县　C_1　单偏光　×80

3．泡沫珊瑚(*Cystiphyllum*)：横切面，泡沫板向珊瑚中心凸起，具线纤结构，纤体中间有一条隐粒结构的黑线，泡沫板间为亮晶方解石充填。　贵州　D_1　单偏光　×30

4．群体六射珊瑚：横切面。由多边形个体密集排列而成。个体直径约1.3mm，见12个隔壁，具线纤结构。　海南岛崖县　现代　单偏光　×30

5．八射珊瑚骨针：纵切面。外形呈长棱状，高镁方解石组成，玻纤结构。纤体以长轴为对称线，从中心向两侧辐射，有细针管自轴部垂直延向表面，突出表面构成密集小棘刺状，与骨针消光方位不同的一致消光。　海南岛崖县　现代　正交光　×30

6．八射珊瑚骨针：横切面。圆形或椭圆形，玻纤结构，具放射状十字消光。　海南岛崖县　现代　正交光　×30

7．羽状苔藓虫(*Penniretepoora*)：纵切面。主枝上见两排虫室，斜向生长，具中棱，片状结构。　美国阿肯色州　C_1　单偏光　×30

8．网格苔藓虫(*Fenestella*)：斜纵切面。为隐口目，复体分枝状，分枝直或稍弯曲，每枝上虫室排列规则，圆卵形，虫室壁具片状结构。　四川　P_2　单偏光　×30

图版Ⅷ

1．多孔苔藓虫(*Polypora*)：横弦切面。与网格苔藓虫相似，所不同者，在每枝上虫室多而密集，规则排列成3—12行，具片状结构。　四川　P_2　单偏光　×30

2．细针管苔藓虫科(*Stictoporellidae*)：横切面。外形呈叶状，虫管和中柱近直交，中板和横板把虫室分割成多个矩形。具片状结构。　四川　P_2　单偏光　×30

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3．变口目苔藓虫(*Trepostomata*)：横切面。虫室圆管状，管径约0.2mm，呈放射状排列，亮晶充填。未成熟带虫室壁呈暗色微粒结构，外侧叠加较薄的正纤层。 四川 P_1 单偏光 ×40

4．变口目苔藓虫(*Trepostomata*)：横切面。虫室壁薄，微粒结构(未成熟带)，管状无横板，亮晶充填。 美国阿肯色州 C_1 单偏光 ×30

5．小孳苔藓虫(*Batostomella*)：弦切面。虫室圆形或圆卵形，具较多的间隙孔和刺孔。虫室壁具平行片状结构。 美国阿肯色州 C_1 单偏光 ×30

6．泡孔目笛苔藓虫(*Fistulipora*)：弦切面。由圆形或椭圆形虫室与泡沫组织组成，虫室壁薄，中间为暗色微粒结构，正纤层从中间向两侧生长。虫室间有多行泡沫组织。虫室及泡沫组织间皆为亮晶充填。 美国阿肯色州 C_1 单偏光 ×30

7．腕足类：纵切面。为腕足类的喙部，双瓣由喙部连接，具平行片状结构。 四川 P_2 单偏光 ×30

8．有铰腕足类碎片：壳体具平行片状结构。壳层中垂直的暗色条纹为疹柱痕迹。四川 P_2 单偏光 ×30

图版Ⅸ

1．腕足类棘刺：横切面。棘刺横断面呈圆环状，直径0.4mm，同心状叶片结构，亮晶充填。 四川 P_1 单偏光 ×40

2．腹足类：横切面。螺壳外层为纤状结构，富有机质呈棕褐色，内层由浅色交错纹片层组成 山东平邑 E_{2-3} 单偏光 ×30

3．腹足类：横切面。壳壁具次生晶粒结构。螺腔内为亮晶充填。 四川 P_2 单偏光 ×30

4．腹足类：纵切面。螺体呈塔形，壳壁已转化为次生晶粒结构。螺腔为亮晶充填。 山东莱芜 O_2 单偏光 ×30

5．瓣鳃类碎片：纵切面。瓣壳单向弯曲，壳壁具次生晶粒结构。 安徽巢县 C_2 单偏光 ×30

6．瓣鳃类碎片：纵切面。壳壁见致密交错纹片结构。 大庆白垩系 K_1 单偏光 ×30

7．头足类：纵切面。直角石式壳保存完整。壳壁及隔壁极薄，约30μm。壳壁具次生晶粒结构。 山东泗水 O_2 单偏光 ×30

8．竹石节目(Tentaculitida)：斜纵切面。圆锥形管状，管壁叶片结构，壳面具明显的管状脊，管内泥晶充填。 (据戴永定) 云南沾益 D_2 单偏光 ×80

图版Ⅹ

1．塔节石(*Nowakia*)：纵切面。壳圆锥形，长约2.5mm，宽0.4mm，顶角20°，壳壁厚约5μm，平行片状结构，亮晶方解石充填。 (据戴永定) 广西百色 D_1 单偏光 ×15

2．塔节石(*Nowakia*)：横切面及斜切面。横切面呈圆形，亮晶方解石充填。 广西 D_1 单偏光 ×20

3．三叶虫碎片：各种切面。壳具反向弯曲，壳壁不等厚，具玻纤结构。 山东蒙荫 ϵ_{2z} 单偏光 ×30

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4．三叶虫碎片：各种切面。见头部和尾部横切面，具玻纤结构。　山东莱芜 ϵ_{2z} 单偏光　×30

5．三叶虫颊刺：纵切面。刺呈细长管状，切面呈长条形，直径约0.7mm，长6mm，壁厚60μm，具玻纤结构，泥晶和亮晶充填。　山东蒙荫　ϵ_{2z}　单偏光　×30

6．介形虫：纵切面。双壳保存完整，壳壁薄，厚约20μm。具玻纤结构，体腔为亮晶充填。　山东平邑　E_{2-3}　单偏光　×30

7．介形虫：各种切面。壳薄，具玻纤结构，亮晶充填。　大庆　K_1　单偏光　×30

8．海百合茎(*Cyclocyclicus*)：横切面。圆形，直径约0.5mm，中空，具单晶结构，茎孔中为泥晶充填。中央有单轴海绵骨针。　安徽巢县　P_2　单偏光　×30

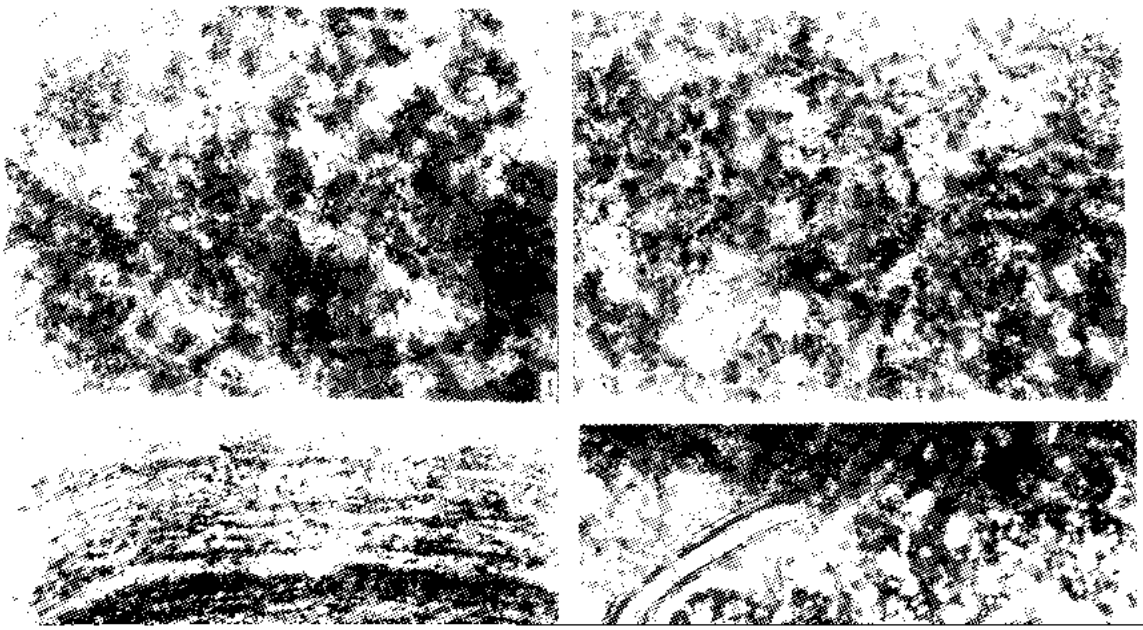
图版Ⅻ

1．海百合茎(*Cyclocyclicus*)：横切面。椭圆形，直径2.5mm，具连生单晶结构，并见有有机质网纹。　广西浪平　C_2　单偏光　×30

2．海胆棘刺：横切面。直径约1.5mm，具网格单晶结构。原生网格晶孔中充填的单晶光性方位不同，正交光下不同时消光。　安徽巢县　P_2　单偏光　×30

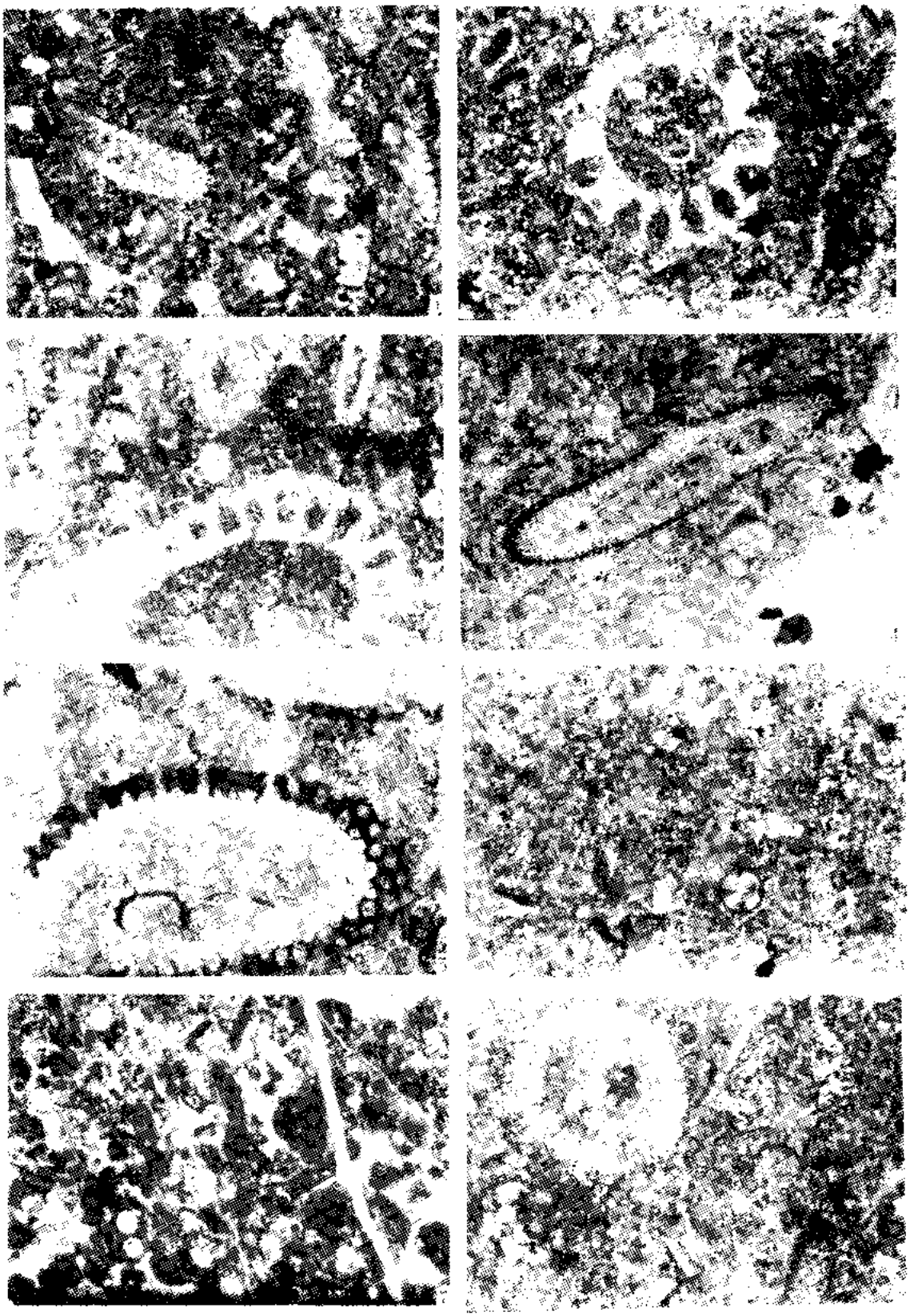
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

图版 I



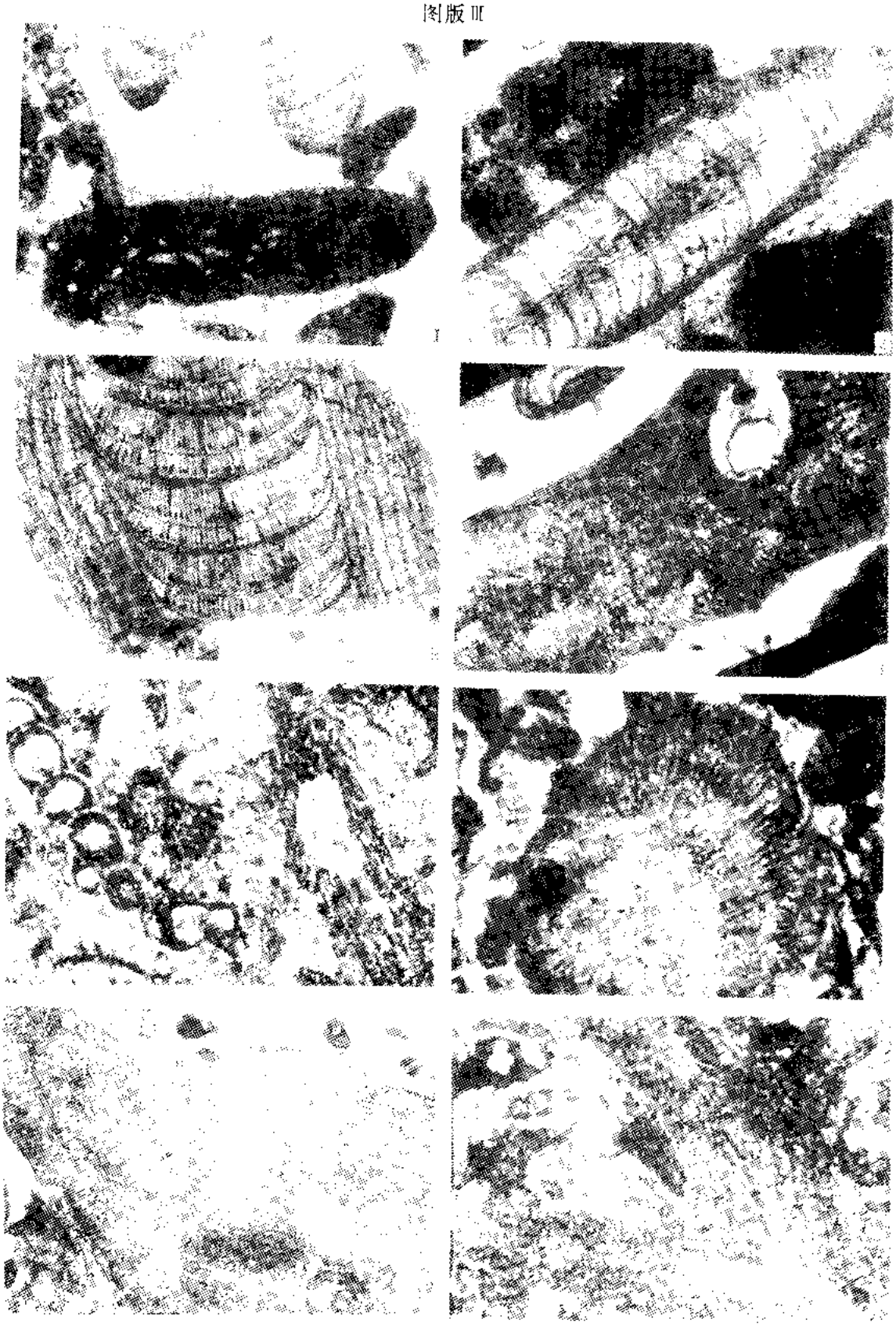
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

图版 II



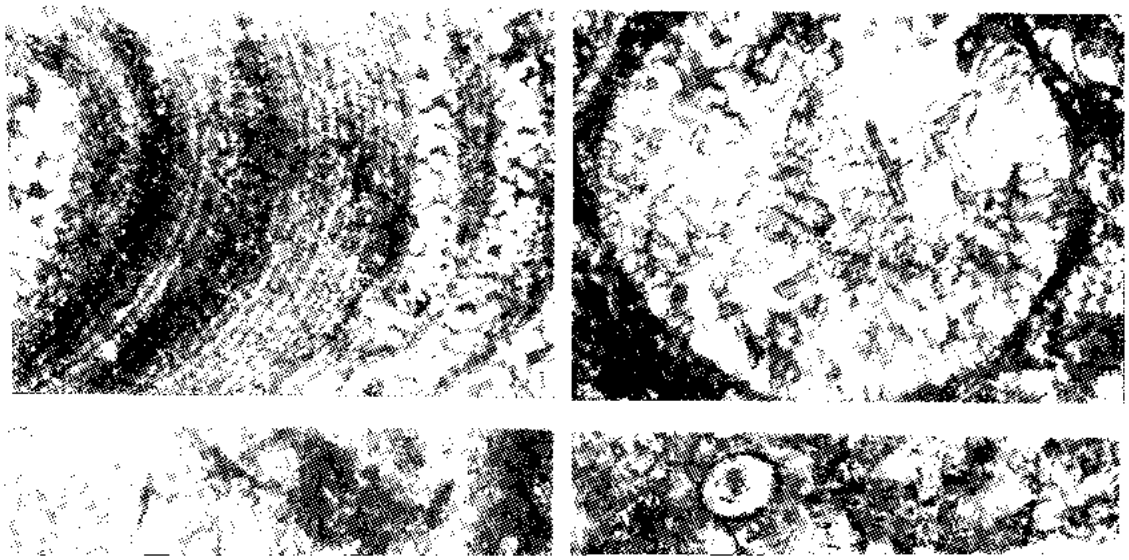
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

图版 II



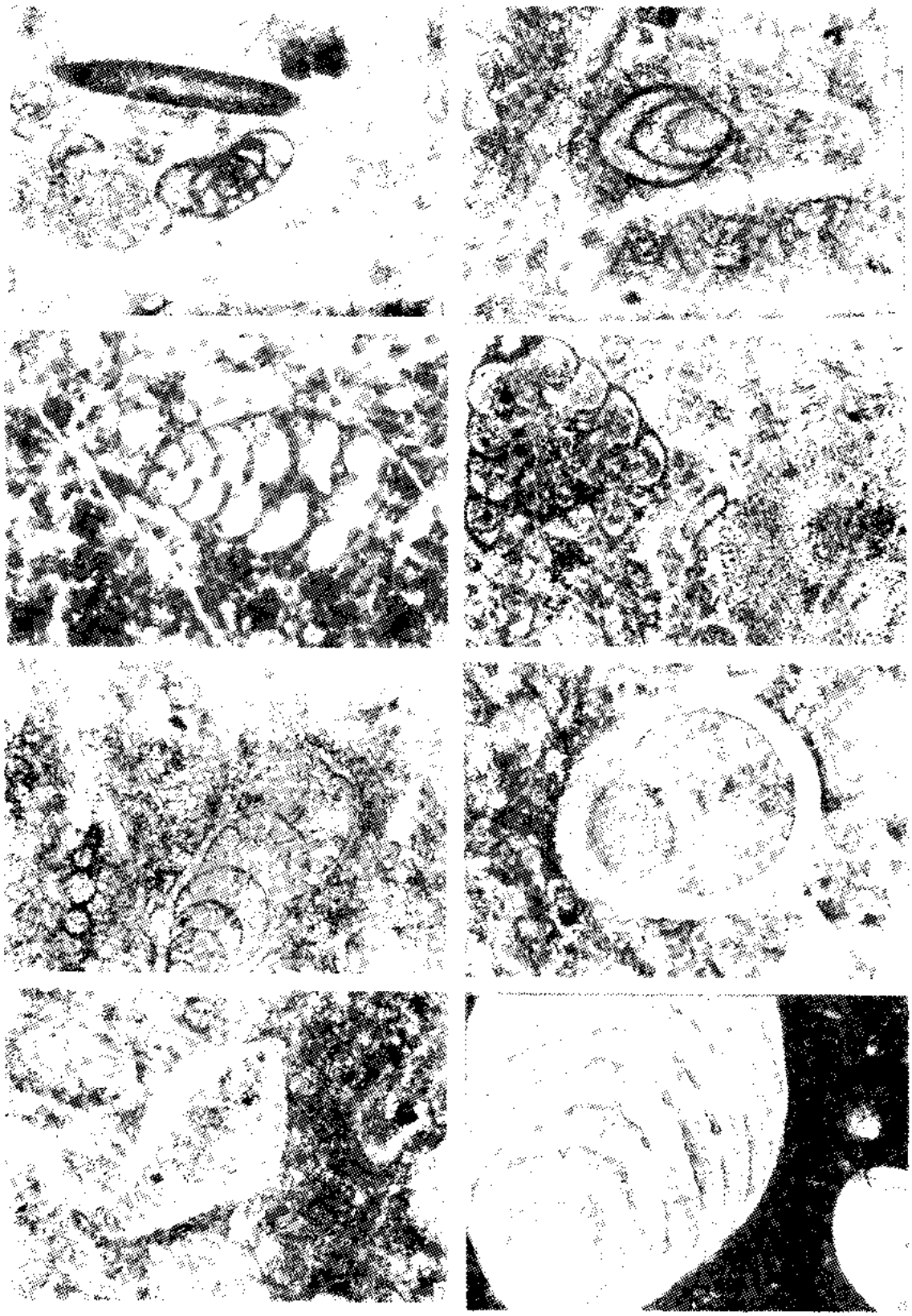
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

图版 Ⅳ



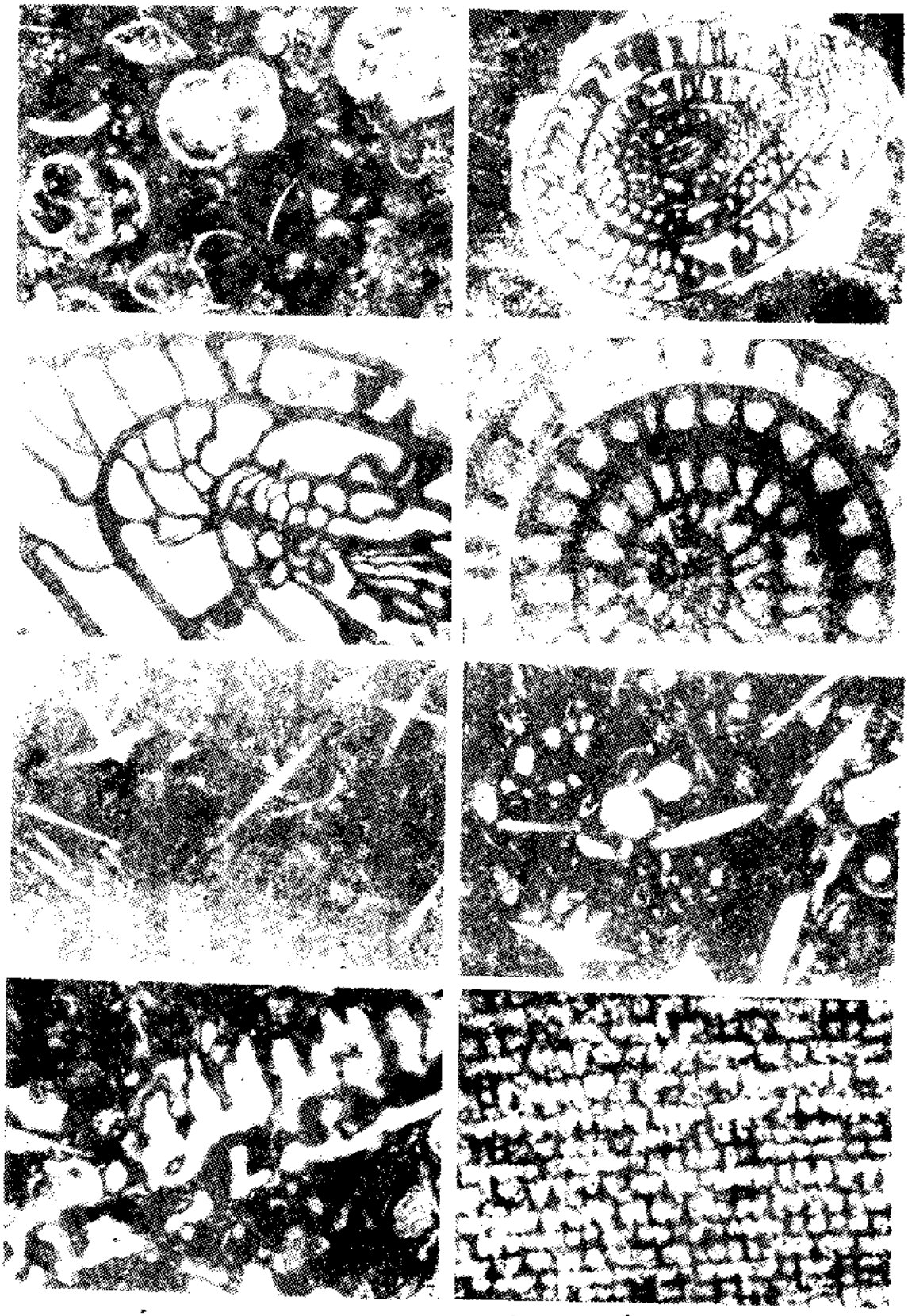
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

图版 V



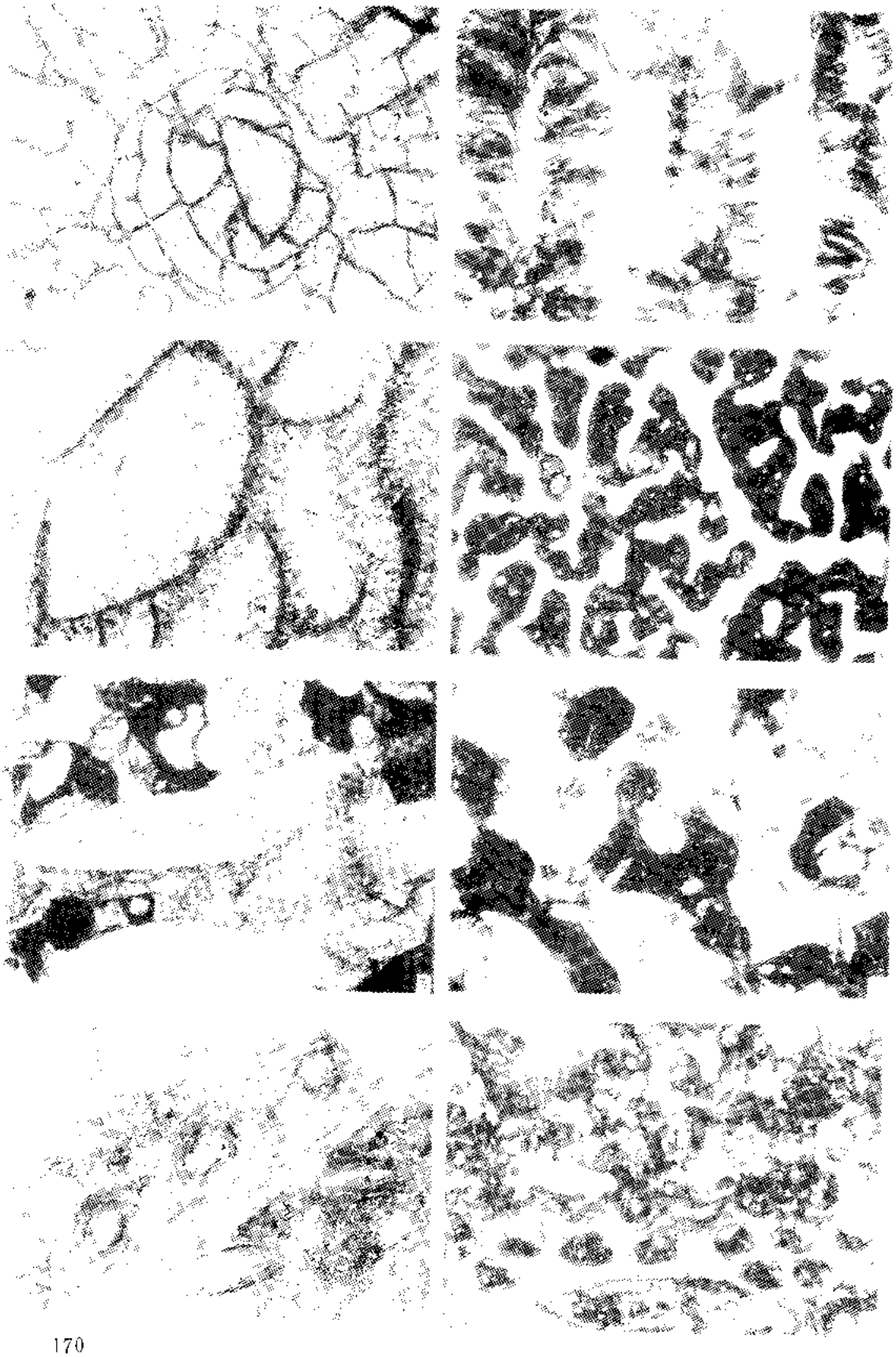
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

图版 VI



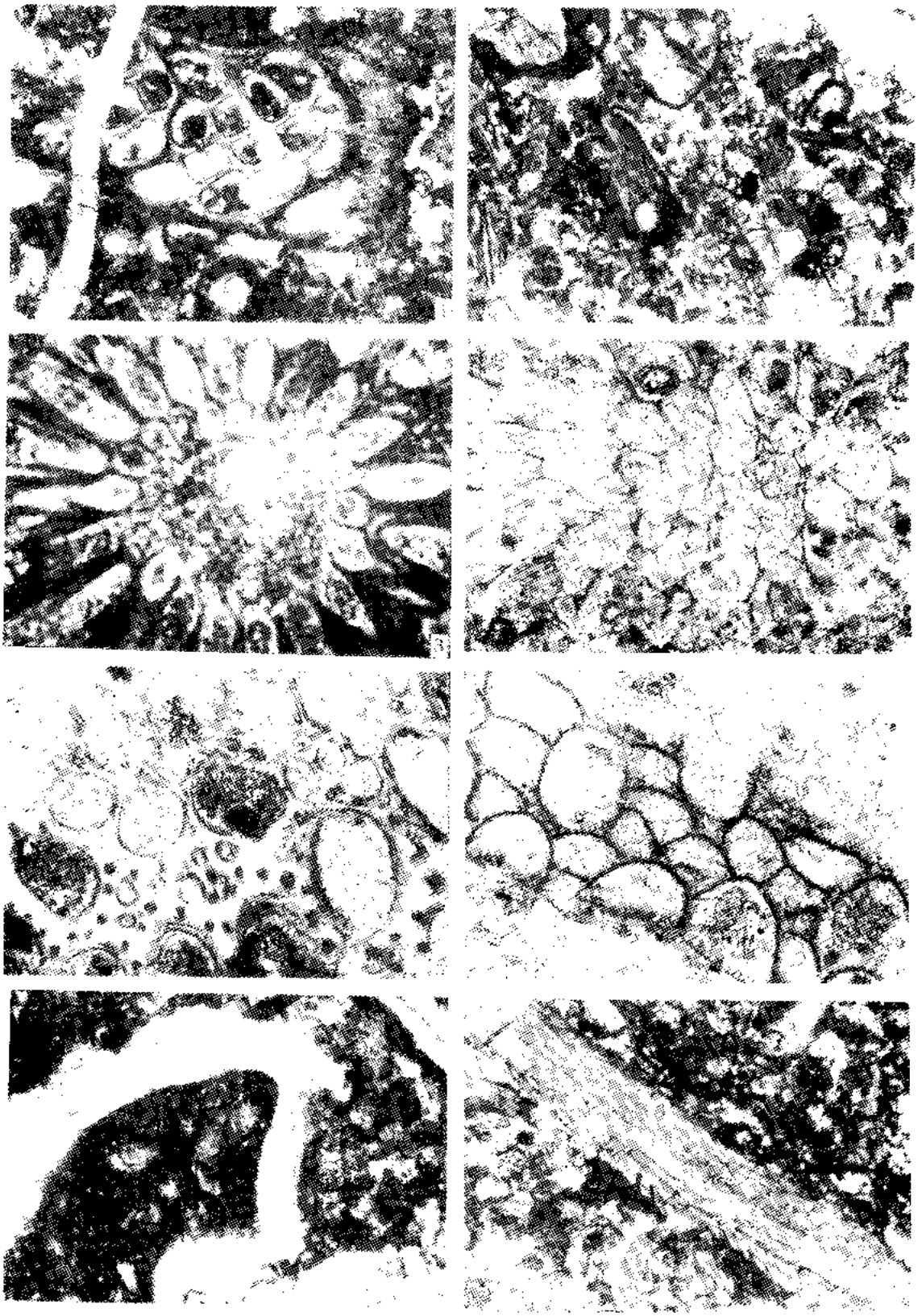
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

图版 VII



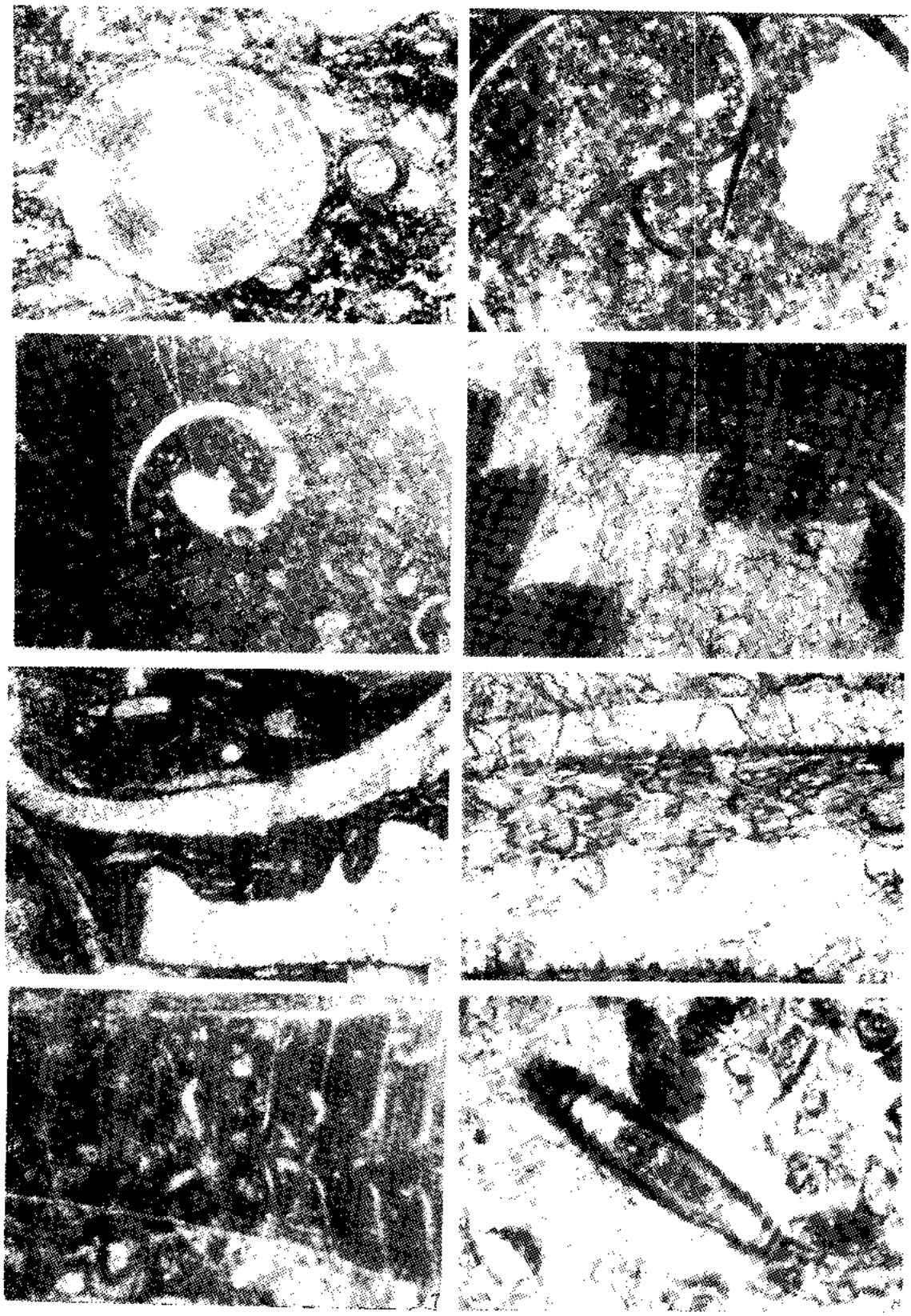
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

图版 VII



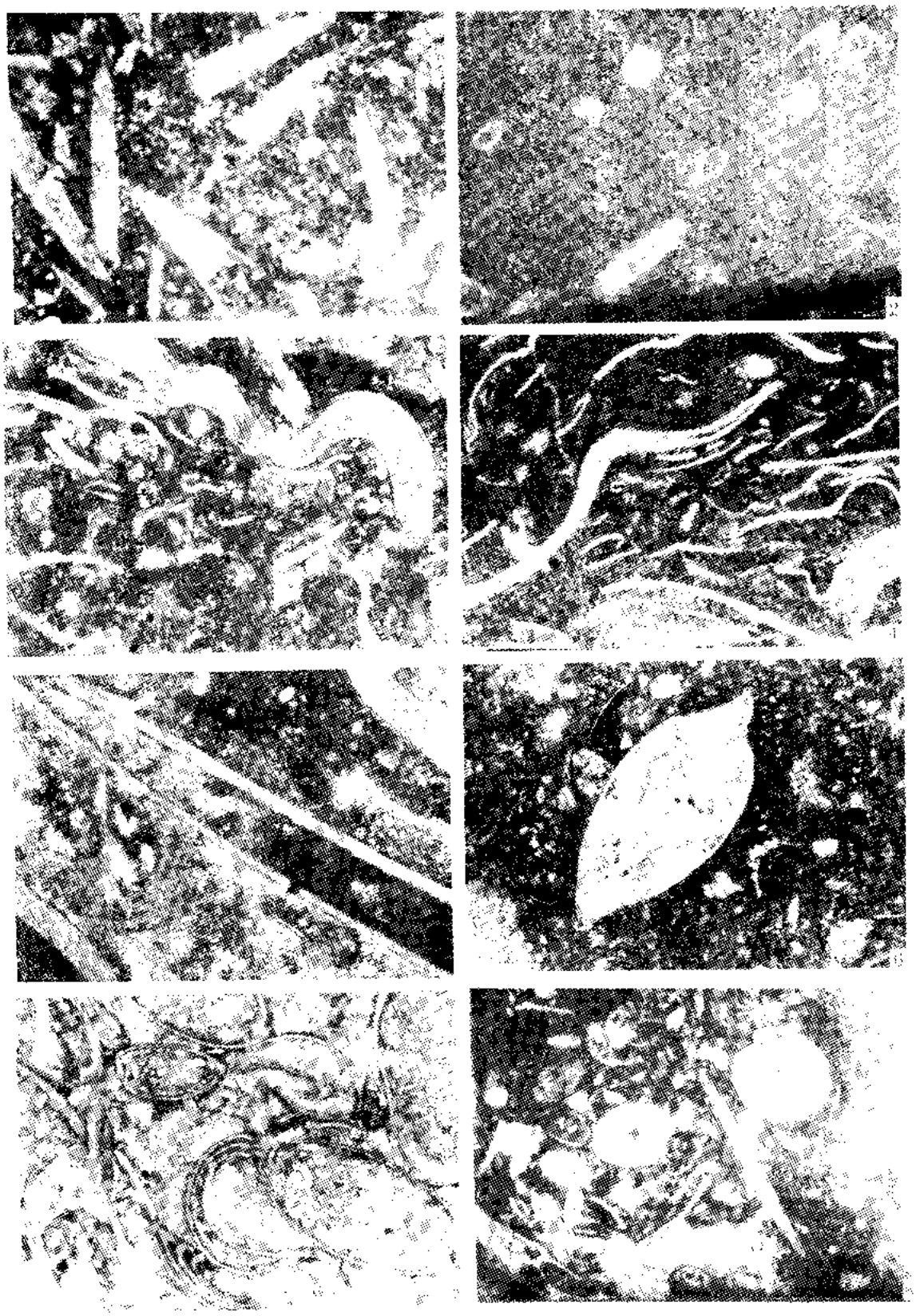
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

图版 Ⅸ



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

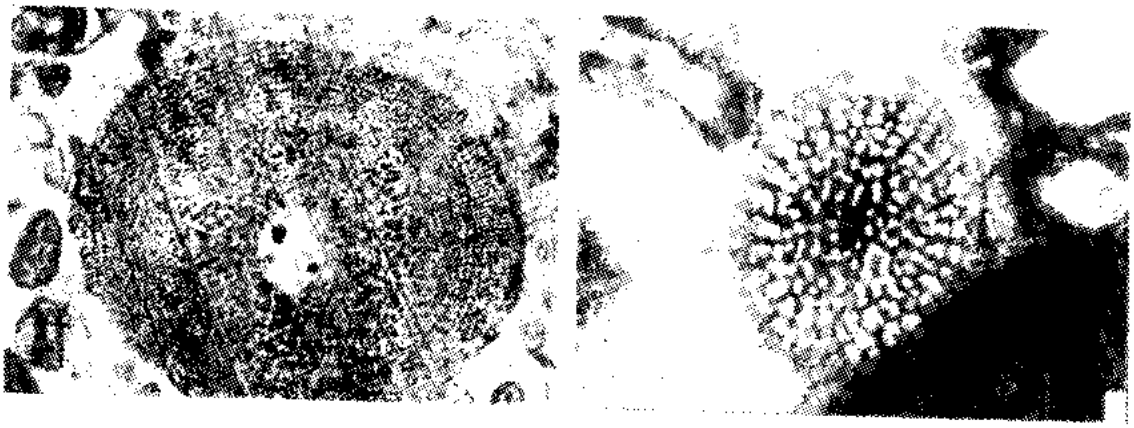
图版 X

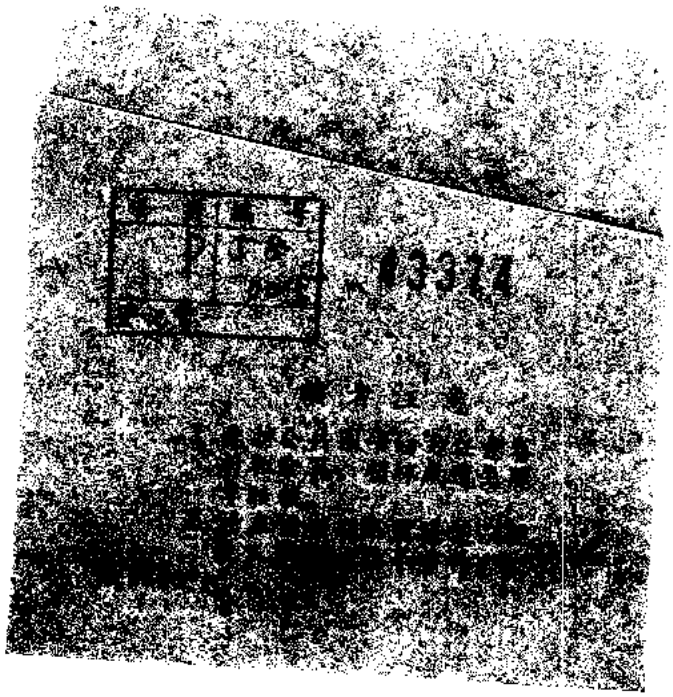


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

43374

图版 XI





00263627

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com