

判断沉积相的古生物标志

吴崇筠 编

石油工业出版社



8902

判断沉积相的 古生物标志

SJ18/12

吴崇筠 编



00259521



200389757

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要从研究沉积相入手,论述在不同沉积环境中常见古生物化石的古生态特征,同时还介绍了有关遗迹化石和化石群的分异等方面的内容。

本书可供石油地质和古生物专业技术人员、科学研究人员、有关院校师生参考。

判断沉积相的古生物标志

吴崇筠 编

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

北京顺义燕华营印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

•

850×1168 毫米 32 开本 2⁵/₁₆ 印张 67 千字 印 2,901—5,900

1980 年 9 月北京第 1 版 1982 年 8 月北京第 2 次印刷

书号: 15037·2206 定价: 0.36 元

前 言

对于沉积环境的反映，沉积物中的有机组分比无机组分更为灵敏，所以古生物成为判断古地理的重要标志。对于碳酸盐岩地层的沉积相研究，古生物尤其重要，因为碳酸盐沉积含生物化石甚多，所以在划分碳酸盐岩层的微相时，古生物标志具有重要的意义。

用古生物方法来研究沉积相的途径很多，如古生态、古生物化学、古生物矿物学、遗迹化石、超微化石，以及化石鉴定资料的数字处理等。现只对常遇到的四个方面的问题（古生态，常见生物化石的古生态、遗迹化石和化石群的分异度）作简要叙述。

我个人不是专门学古生物的，但在搞沉积相研究工作中深感古生物的重要，故编写了这一小册子，错误可能很多，请同志们指正。

书稿写成后，曾经石油勘探开发科学研究院余萍院长、李应培、范丛武、甘克文、刘淑萱，以及贵州石油勘探指挥部李尚武、谭宗良、黄蕴明等同志审查。四川石油管理局石油科学研究院傅谕同志还提供了—些图幅和资料。此外，书中还引用了上海同济大学海洋地质系等单位的资料，在此一并致谢！

吴崇筠

一九八一年

目 录

第 1 节 古生态	1
一、生物的生活方式	2
二、水体含盐度对生物分布的影响	3
三、海盆地的水深对生物分布的影响	6
四、水体运动强度、水体浊度、沉积速度 对生物种类分布的影响	9
五、海底底质对生物种类分布的影响	10
第 2 节 常见生物化石的古生态	13
一、珊瑚	13
二、层孔虫	16
三、苔藓动物	17
四、腕足类	20
五、棘皮动物	22
六、海绵动物	24
七、有孔虫	25
八、瓣鳃类	33
九、腹足类	38
十、头足类	41
十一、笔石动物	43
十二、藻类	47
第 3 节 遗迹化石	52
一、遗迹化石的概念	52
二、遗迹化石的种类	52
三、不同沉积环境的遗迹化石	56
四、遗迹化石在其它方面的应用	63
第 4 节 化石群的分异度	64
一、化石群分异度的概念	64
二、简单分异度 S	65
三、复合分异度	67

第1节 古生态

用生物化石判断古沉积环境，首先必须研究地质时期生物和它们生活环境之间的关系。研究这个关系的学科叫作古生态学(Palaeoecology)。

古生态学是从现代生态学着手研究的，因为只有研究现代生物的生活方式、特征和在各种沉积环境中的分布状况，才能获得大量的、直接的、详细的资料。然后用“将今论古”的方法，去推测古代同类生物的古生态。虽然，在地质历史发展过程中，随着生物的演化，生物的生态也可能发生一些变化，如现代的轮藻多生活在淡水中，而古生代的轮藻曾在淡化海水中生活。但是大多数生物的生态变化是不大的，所以“将今论古”的方法是可行的，特别是地质时代较新的地层如第三纪、白垩纪的地层，可靠性更大。古生态研究较详细的有软体动物、有孔虫、介形虫等生物门类，至于那些现在已经绝灭的古生物，对其生活的沉积环境的判断，则只能靠对其骨骼器官的功能分析，靠共生的其它的未绝灭的生物化石和所在沉积岩的岩性特征来间接推断。

在具体应用中，还应考虑下列问题：生物埋藏的地点与其生活的地点是否一致，即是原地生物还是经过搬运的异地堆积？是本地层的生物还是老地层的化石经过搬运再沉积的？一般地说，原地化石具有化石保存较完整、成虫与幼虫共生、化石个体大小混杂堆积在一处的特征。异地堆积的化石具有化石被破碎磨蚀、不同种类化石混杂，但大小具有分选性等特点。从老地层转运来的化石与后来所在地层的地质时代，甚至生活的环境有不一致的特点。

现将水生生物的生活方式、生物种类与沉积条件的关系、主要门类生物的分布简述如下。

一、生物的生活方式

生物的生活方式，又称生态类型，分为下列几种：

1. 底栖生活

底栖生活的生物生活在水底，体形较大较重，外壳坚固，形状变化多样，根据其生活方式可再细分为：

(1) 固着底栖生活：在水底固着生长，动物中除脊椎动物外都有营这种生活方式的。海洋中如底栖有孔虫、海绵、古杯、水螅、珊瑚、层孔虫，棘皮动物中的海冠、海林檎、海蕾、海百合，大部分腕足类，苔藓虫，节肢动物的蔓足目等都营固着底栖生活。陆地上湖泊、沼泽、河流中也有其特有的固着底栖生物。如某些硅藻、腹足类、瓣鳃类等。

(2) 掘泥生活：在松软的砂泥质水底，底栖生物为了寻找食物和保护自己，在砂泥内掘成洞穴居住，如瓣鳃类的贻贝类，腕足类的舌形贝。

(3) 钻孔生活：一些底栖生物在坚硬的基底上钻孔居住，如瓣鳃类的海笋。

(4) 躺卧海底生活：如瓣鳃类的海扇，腕足类的五房贝。

(5) 沿海底爬行生活：如有些有孔虫、腕足类、软体动物。

底栖生物分布广泛，淡水、海水中均有。在海洋中从近岸浅海到深海海底均有，但以浅海区最为丰富，因为这里水浅透光，藻类发育，可以藻类为食料，再者，这里海水运动较强，可带来充足的氧气和食料。次深海区底栖生物仍然多，它们以从水体上层落下的漂游生物尸体或沉积物中的碎屑有机物为食料。底栖生活的生物可少受外界气候等因素变化的影响，是其生活的有利条件。

2. 游泳生活

生物具游泳器官，可在水中自由游泳，如鞭毛虫、头足类。

3. 漂浮生活

生物无游泳器官，随波逐流被动地漂浮在水中，外形多呈球

形、扁盘形、针状、带状等，体小且轻，如有孔虫的抱球虫。

有些生物的生活方式在生长过程中是变化的，如腕足类、软体动物的幼虫时期营漂浮生活，成年期则固着海底或沿海底爬行。有些底栖生物，特别是固着底栖生物，往往附在藻类、木材或游泳生物上，营被动的漂浮生活，被带到很远的地方，如某些海百合、网笔石、个体较小的腕足类和瓣鳃类。

游泳和漂浮生活合称为浮游生活。营游泳和漂浮生活方式的生物分布的范围很广，在海洋中从近岸到深海远洋地区均有，所占比例向深海方向增加，而底栖生物增长方向却恰恰相反。因为深海地区海底寒冷，黑暗不透光，压力大，水循环弱，缺乏氧气和食物，不宜底栖生物发育。在这里生活的生物主要为水表面和水上层的漂浮生物和游泳生物。这些浮游生活的生物死后，尸体降落海底形成钙质软泥堆积，但是在超过一定深度（大约4000~5000米左右）后，由于压力大，溶解度大，生物的钙质骨骼被溶解在水体中了，故海底无钙质软泥沉积。

二、水体含盐度对生物分布的影响

沉积环境的物理化学条件是变化多端的，与此相应分布的生物种类和形态也有种种变化。其中影响较大的是水体的含盐度、深度、透光度、温度、浊度、水体运动的性质和强度、水盆地底层的性质、氧气和食物的供应状况等。这些因素彼此之间又是相互有联系的。

水体含盐度对生物的影响极大，随水体含盐度变化，生物种类有明显改变。因此，生物化石是划分海相、陆相、海陆过渡相的主要标志。因为生活在水体中的生物必须在自己体液中保持一定浓度的营养盐，所以，若是周围水体的含盐度大于或小于生物体液的含盐度，就必然通过生物体壁的半渗透膜发生体液的渗出或周围水体的渗入。若含盐度相差太大，渗出或渗入的水过多，都会引起生物的死亡。这是一些耐盐度有限的生物的特点，这种生物称为狭盐性生物。不同种类生物具有不同的耐盐度范围，因

此狭盐性生物是判断古沉积盆地水体含盐度，划分海陆相沉积的最有用的标志，故称做指相生物。

另一些生物的体液的含盐浓度能够忍受很大的变化（如某些藻类），或者在盐度多变的环境中演变出各种渗透调节的方法来维持它们体液的稳定含盐浓度（如节肢动物、软体动物、蠕虫的某些类别），这种生物能在盐度广泛变化的沉积环境中生活，因此叫广盐性生物。

图 1-1 列出现代水盆地按含盐度的划分及不同种类生物的分布，以助于我们今古对比，推断古水盆地的含盐度。

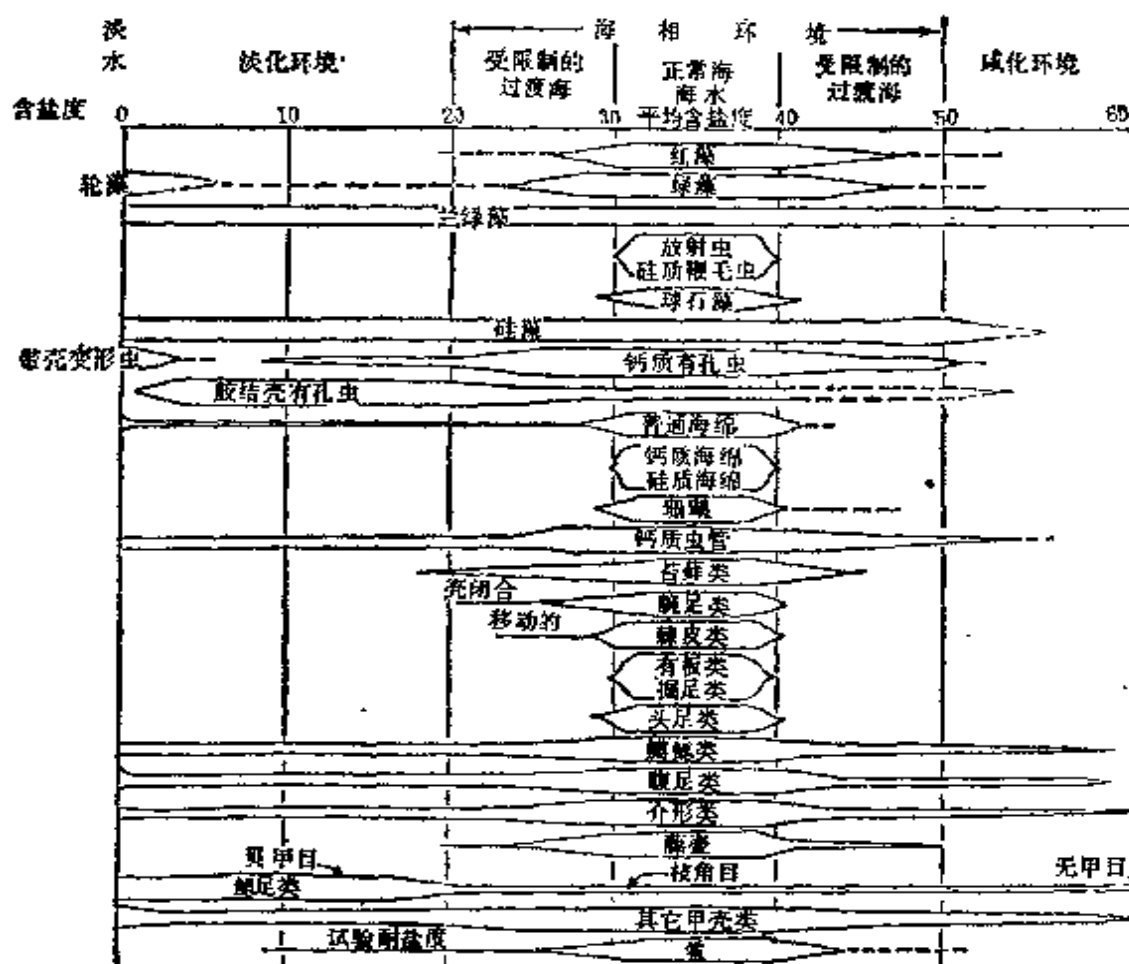


图 1-1 与含盐度有关并能成为化石的一些重要的无脊椎动物门类的现代分布。宽狭大致反映了生物类别的多样性程度〔6〕

正常海水的含盐度平均为35‰，变化范围为30~40‰，两侧为受限制的过渡海，左侧向淡水环境过渡，右侧向咸化环境过

渡。从图中可以看出，正常盐度的海水，生物种类最多，盐度偏高或偏低时，生物种类都减少。

正常海相生物有：钙质红藻、绿藻、放射虫、硅质鞭毛虫、球石藻、大多数钙质有孔虫、钙质或硅质海绵，珊瑚，苔藓，腕足类，棘皮类，藤壶，鲎，软体动物的单壳类、有板类、掘足类和头足类等。

已灭绝的筳，古杯类，层孔虫，软舌螺，三叶虫，竹节石，光亮节石，牙形石，笔石等曾是古代正常海相生物。

少数苔藓虫、钙质有孔虫、藻、舌形贝、移动的棘皮类和头足类，它们能从正常海移动到过渡海生活。这类生物的化石大多表明是一种与广海相毗邻的并稍受限制的海水环境，大部分陆表海繁殖着这种受限制的、但属海相的生物群。

海相生物中还有兰绿藻，硅藻，胶结壳有孔虫，普通海绵，钙质蠕虫管，瓣鳃类，腹足类，介形虫和其它甲壳类等。但这是些耐盐度较高的生物，其中也包括有非海相的种类，分布范围很广，从淡水、淡化海、正常海相到咸化海都有，只是不同含盐度环境，种类和形态壳饰有所变化。如图 1-2 所示的新生代腹足类和瓣鳃类在不同盐度水体环境中不同纲目的分布。

典型的微咸水生物是上述的耐盐度高的几个生物门类中的少数几个类别。如瓣鳃类、腹足类、介形虫、鳃足亚纲、软甲亚纲、硅藻、蠕虫管及兰绿藻等的一些种属。

典型的超咸水生物群在大的生物类别上与微咸水生物群可能无大的差别，但当超咸水的含盐度变得很高时，只有鳃足亚纲的无甲目，也许还有兰绿藻，介形虫，细菌，微生物能够生活。

在受限制的环境中的生物还有一个普遍特点是生物类别减少，但个体数量有所增加。并且生物形态发生畸形。

典型的淡水生物有轮藻、带壳变形虫、少数特殊的瓣鳃类、腹足类、介形虫、鳃足亚纲的贝甲目、普通海绵、硅藻、兰绿藻以及蠕虫管等。它们是狭盐性生物，能适应稳定的淡水环境。

盆地边缘地区，由于季节气候变化，暴风雨的干扰，水体的

含盐度容易发生迅速的变化，因而造成不同耐盐度的生物的混

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 1-2 新生代主要软体动物分布图〔3〕

合。另外，淡水生物易被河流带入海盆边缘，海相生物也可能沿河流上溯相当距离或被特大潮流带入潮上带及其上地区。所以海盆地边缘地区或近海的淡水环境中，有海陆生物混合现象，这也是判断盆地边缘环境的重要标志。离海盆地较远的真正淡水环境，应无海相生物化石。

三、海盆地的水深对生物分布的影响

生物在海水中分布的深度与海水透光程度、温度、氧气和养料的供给、底层性质等影响生物生活的因素有一定关系，所以海盆地中，不同深度的海域，生物种类有所差别。这也是进行海相沉积微相划分的重要依据。

例如藻类只生活在浅海中，因为藻类生活必须·进行·光合作

用，只能生活在有阳光透入的地带。阳光的入透深度与海水的混浊度有关，一般在清澈的海水中，强阳光的入射能量中只有10%能透入37米深，到100米深处则不到能量的1%。因此大多数藻类只限于在小于70米的深处生活，最宜繁殖的深度小于40米。随着海水混浊度增加，光线穿透海水的能力降低；地理纬度的增高，光线入射角降低，也降低透光度。在清澈的热带海水中，光线能穿透的最大深度约为170米。

图1-3中列举现代海洋中生活的无脊椎动物门类的分布与海水深度的关系。从图中看出，无脊椎动物对深度的忍受程度比对盐度的忍受程度要大得多，即生物生活的深度范围较大，而且在地史发展过程中逐渐变化。例如古硅质海绵，现在仅生活在深海中，但是在古生代被认为曾生活在浅海。只有依靠阳光才能生活的底栖藻类（包括钻孔生物）才能为古沉积环境的深度提供较确实的证据。

某些原生生物，如球石藻，只能生活在表层水中，因为它特别需要阳光进行光合作用。它最大量地生活在广海的表层水中，死后尸体沉落海底。当地层中大量出现上述藻类和放射虫、翼足类、浮游有孔虫化石时，被认为是深海沉积。虽然从理论上说，浮游生物能生活在海洋中任何地方，但是还是在远离海岸的深海区数量最多。因为深海区水体厚，与它争夺养料的底栖生物较少。另外，在大陆架边缘的大陆斜坡附近，由于周期性洋流上升而带来更多的养料时，浮游生物也会大量繁殖。但是，局部地方常常有大量浮游有孔虫被带入浅海。不过，现代陆缘海沉积物中浮游有孔虫的数量和比例还是向深海方向增加的。

在古地理研究中，现在常采用今古对比法来研究古水深，即根据现代那些分布受水深控制的生物种属与地层中相同的生物种属对比，以推测化石所在处水体的古深度。应用较有效的有瓣鳃类、腹足类、有孔虫、介形虫等类生物，比较有把握的是用于中、新生代地层。

但是，生物分布的深度受温度的影响，海水温度一般地随海

水深度而降低，并且受纬度控制，例如高纬度地区浅海中出现的

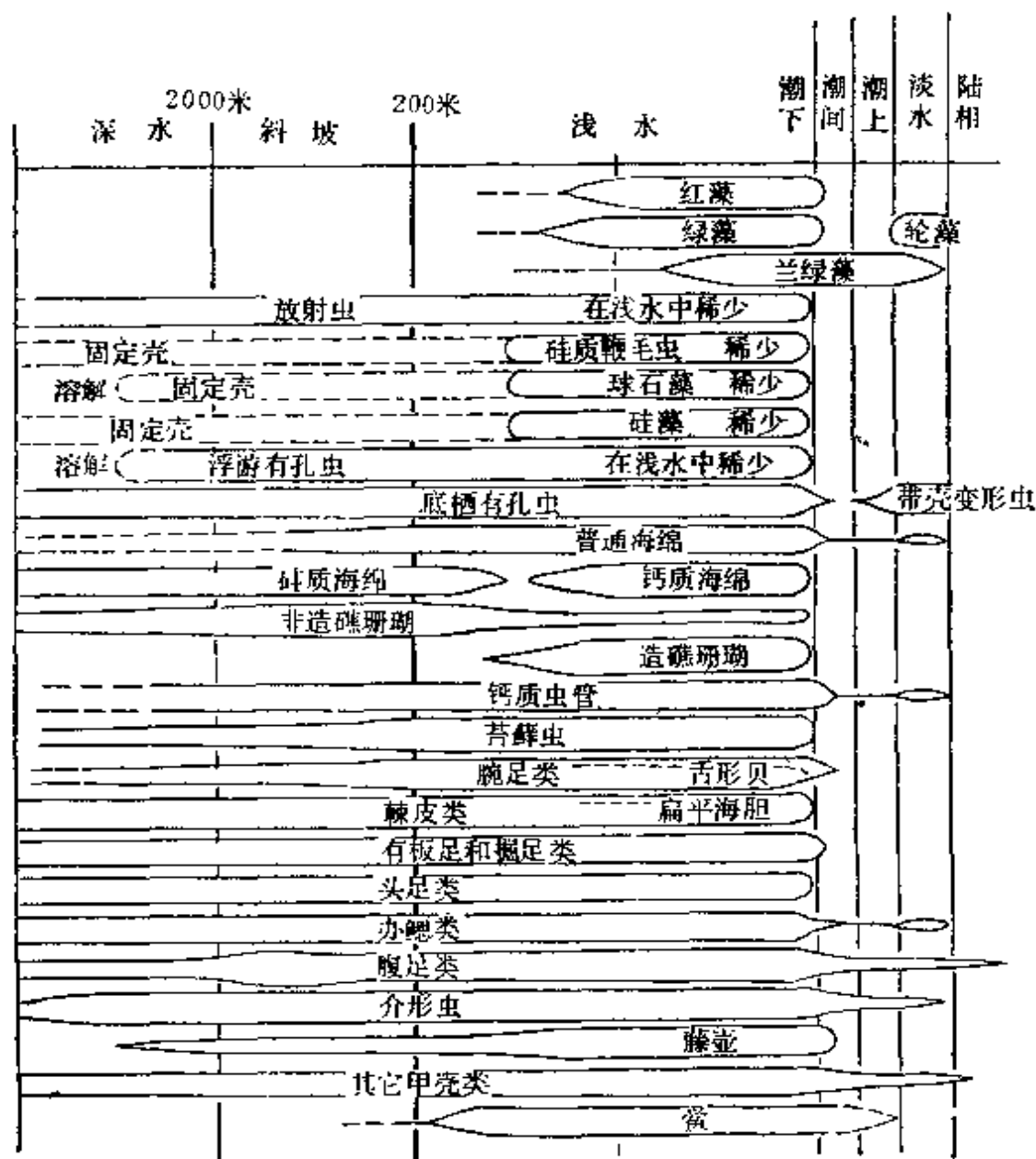


图 1-3 与水深有关并能成为化石的主要无脊椎动物门类的现代分布〔6〕

冷水生物在热带仅生活在相同温度的深海中。因此，在垂直赤道方向，因受纬度影响，同种生物生活的深度变化很大，所以在不同的地理位置，尤其是纬度相差太大的地区，便不能简单地用化石种属来类比深度。

另外，用化石种类来推测古水深时，还需注意一些问题：例如浊流能把浅海生物带到深海底去沉积；有些生物能附着在浮动的植物上被带到别处，当植物腐烂时，附着生物便下沉到不同深度的海底上；现代海平面上升，有些地方出现残留生物。即是现代某些海底上有比现在深度大或小的古沉积物中的化石出现，如我国东部大陆架边缘，有滨海生活的有孔虫，它实际上是更新世冰期海面降低时此处为滨海环境的生物，它与此处现代沉积物种属的时代和沉积环境都不一样。

四、水体运动强度、水体浊度、 沉积速度对生物种类分布的影响

有些生物的生长方式反映了水体运动的强度，红藻、珊瑚、苔藓等群体生物尤其如此。例如呈块状或板状的生物主要生活在波涛汹涌的海水中，因为这种形状较能经受波浪冲击；分枝状的脆弱的生物一般是生活在静水中。

生物摄食类型可帮助确定海水的混浊度和沉积速度，如图1-4所示。例如某些食悬浮物的生物如海绵、珊瑚、苔藓虫、有柄类喜欢生活在清洁砂层沉积区，因为这里代表海水运动强烈，可以带来更多的悬浮养料；反之，水体中泥质（包括粘土和粉砂）含量过多、海水混浊度过大时，泥质将会堵塞生物的呼吸器官和摄食器官，而使生物死亡，因此这类生物出现的数量与海水浊度成反比关系。另一些食悬浮物的生物如蠕虫、腕足类、某些瓣鳃类，却有去掉或防止吞食不需要物质的本能，能忍受中等程度的浊度。因而所有的食悬浮物的生物都分布在有提供养料的潮流经过的海底地区。食沉积物的生物如蛇尾类，某些蛤和腹足类，能从沉积物中摄食有机碎屑，所以能忍受更大浊度的海水。这类生物出现的数量与泥质含量成正比关系，因为细粒的泥质沉积物中有机养料较多。食肉或食腐肉的动物如星鱼、海胆、腹足类、介形虫和其它节肢动物能忍受浊度较大的海水，少数能在很浊的海水中生活，如腕足类的舌形贝、掘穴蛤、某些蜗牛、介形虫、有孔

虫及星鱼等捕食型的移动动物,能在快速沉积的环境中生活。红藻

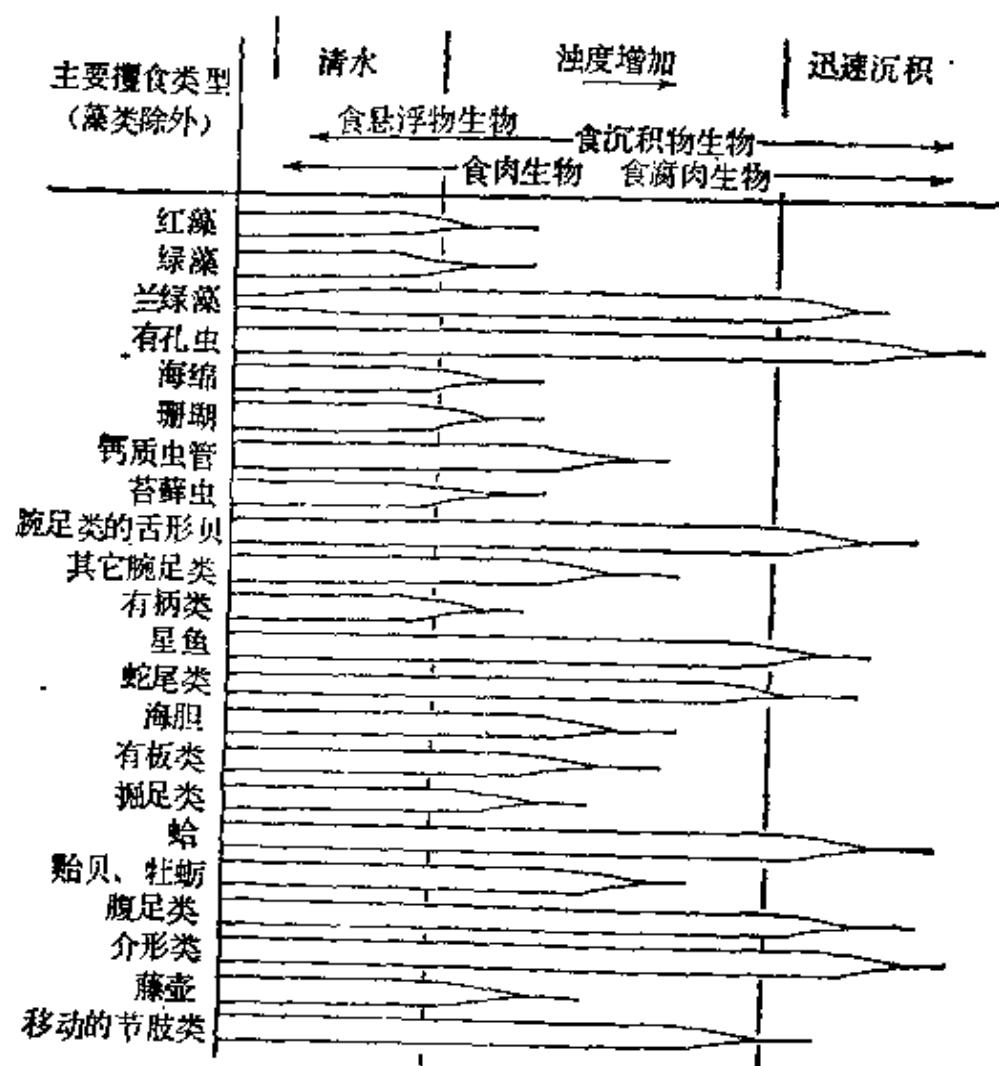


图 1-4 与水的浊度和沉积速度有关并能成为化石的主要无脊椎底栖生物群的现代分布〔6〕

和绿藻虽然不按无脊椎动物的方式捕食,但是它们需要强烈光线进行光合作用,所以它们为了得到最多的入射光线而喜欢生活在清水中。

五、海底底质对生物种类分布的影响

海底底层的岩性、软硬、稳定性等性质影响着底栖生物的分布和生活方式。所以从生物化石种类可以推测当时当地的海底性质及与此有关的海水运动状况等(图1-5)。

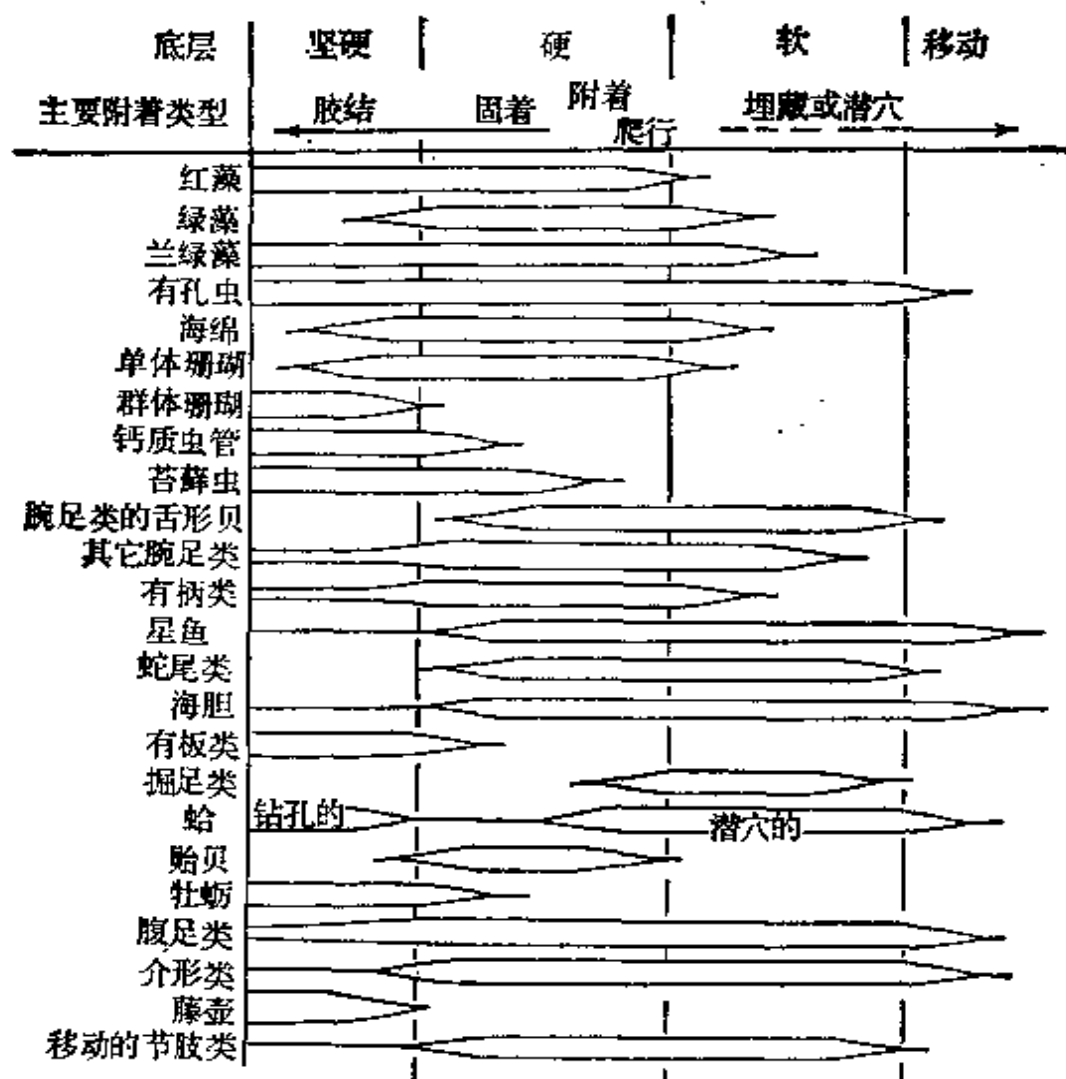


图 1-5 与海底底层坚硬程度有关并可成为化石的主要无脊椎动物的现代分布〔6〕

例如群体珊瑚、蠕虫管、藤壶、大多数牡蛎、苔藓虫、红藻及腕足类的无铰纲，需要坚硬的海底底质以便固着，而另一些生物则固着在较大的贝壳上。有板类及瓣（腹足类）是移动生物，但也喜欢附着在坚硬的层面上。

通过胶结作用或用其他方法牢固地固着在坚硬的层面上的生物能经受得起海水强烈动荡，因此，群体珊瑚和红藻可说明生物岩礁环境的动荡部分；藤壶、有板类、瓣及蠕虫管则表示滨岸潮汐带受海浪拍击的坚硬层面。小型带壳有孔虫需要附着物，它的出现表明曾经有过但未保存下来的坚硬物质。

有些底栖生物用根或其他方法固定在底层上，既不用胶结，也不用壳包着，但需要坚硬的底层。如大多数绿藻、海绵、单体珊瑚、有柄类、贻贝、许多腕足类等喜坚硬底层的生物。它们指示一种后来少受或未受沉积的沉积物表层，由于压实失水而固结的底层环境。

掘足类、掘穴蛤、腕足类的舌形贝、某些有孔虫及由一些移动生物组成的生物群，反映底层是松软的，特别是需要坚硬底质的生物缺失时更是如此。

许多移动生物如星鱼、蛇尾类、海胆、腹足类、介形虫及其它节肢动物，能在各种底层上爬行，所以它们不能反映底层的软硬性质，但是可以指示迅速沉积区或流砂层等底层不断移动的环境。

浮游生物不能指示海底底层性质和底层水的运动状况。但是当只有远洋生物（浮漂生物、游泳生物、附着浮游生物）而缺乏底栖生物时，则可说明海底是缺氧环境或是沉积太迅速。

第2节 常见生物化石的古生态

我国碳酸盐岩地层分布极广，厚度很大，所属地质时代也很长，在一些地区和一些层位中，已经找到丰富的油气流，很多地区都具有良好的生油、储油相带，目前正在进行勘探工作。在这些碳酸盐岩地层中，生物化石十分丰富，对地层划分对比、沉积相带的确定、甚至对岩石的分类命名，都具有十分重要的作用。

本段中挑选一些最常见的研究较详细的生物化石门类，简要地叙述它们的古生态和在地史上的分布，作为前一段的补充，以便于具体工作同志在对比地层和研究沉积相时参考。由于篇幅所限，只挑了珊瑚、层孔虫、苔藓虫、腕足类、棘皮动物、海绵动物、有孔虫、瓣鳃类、腹足类、头足类、笔石和藻类等12种生物为例来说明，还有更多的生物门类未提到，各类生物的鉴定特征也未谈，请参阅古生物书籍。

一、珊瑚 (Anthozoa)

珊瑚属腔肠动物门珊瑚纲，形状象花朵。为典型的海生动物，营固着底栖生活。珊瑚的软体叫珊瑚虫，硬体多为灰质骨骼，多数位于软体之外。珊瑚虫有营单独生活的，叫单体珊瑚；另一些则是许多珊瑚虫生活在一起，叫做复体或群体珊瑚，复体珊瑚中每个珊瑚虫之间有极密切的关系，彼此不可分离。

珊瑚化石最早见于奥陶纪中期的地层中，在志留纪、泥盆纪、石炭纪和二叠纪的地层中大量出现，有些一直延到现代。

珊瑚是判断沉积环境的良好标志，尤其是造礁珊瑚，它的生长受沉积环境的严格控制。例如现代的造礁珊瑚虫，只能生活在年平均温度不低于 20°C 、南北纬 30° 之间的热带、亚热带海洋中，要求正常或较高的海水盐度（适应范围 $27\sim 48\%$ ，以 $34\sim 36\%$ 最适宜）。同时由于珊瑚虫所需氧气要靠与之共生的藻类进行光合

作用来提供，所以还需要明亮的光线，海水清洁透澈，水流通畅，循环良好的浅海地区。海水深度不超过40~60米，小于20米深处发育最好。

造礁的珊瑚，有藻类与之共生，藻类进行光合作用能向珊瑚虫提供氧气，此外，藻类还能促进钙化、联结骨骼、粘结沉积物的作用，使礁体快速生长成大而坚固的块体。

非造礁的珊瑚虫生活的温度范围比较宽，分布的深度范围也比较广，沿着陆棚边缘在水深200~600米之间的水域最发育，形成深水珊瑚滩，少数单体珊瑚可以生活在深水（4000米）低温环境。非礁珊瑚多数为单体种类，也有复体，但其单位面积上珊瑚个体稀少。

珊瑚骨骼形态由于生活环境不同而变化。例如生活于波浪强烈的浅海区的群体珊瑚，外形多呈圆形、蘑菇形、半球形、块状，而且个体密集，分枝粗短，可以经受波浪的打击；生活在安静深水环境的群体珊瑚，外形多呈细长的分枝，性脆多孔隙。

单体珊瑚若生活于坚硬海底，外形呈圆锥形、柱状、拖鞋状、方锥状，以锥顶侧部固着海底；若海底为淤泥时，外形多呈盘状、荷叶状。

珊瑚骨骼的内部构造是十分复杂的，珊瑚的分类，就是根据内部构造来划分的。分类方法尚不统一，常见的分为下列几个目：

1. 四射珊瑚 (Tetracoralla)；有单体，也有复体，最早出现于中奥陶世初期，泥盆纪、石炭纪和二叠纪时极繁盛，以后逐渐减少，至古生代末绝灭。骨骼内部结构特点是隔壁以四的倍数增加，呈两侧对称式排列。另外，在外壁表面上常有环状皱纹。单体在幼年时躺卧海底生活，成年时直立，以锥体顶端的侧面固着海底，身体向水流方向弯曲，横切面呈圆形或椭圆形。在柔软的海底，由于不便固着，往往改变成盘状。复体珊瑚当生活在海水波动条件下，常呈球体，以减轻海浪的冲击；若生活在宁静的海水中，则呈丛状、树枝状，以减少泥沙堆积的威胁。

2. 六射珊瑚 (Hexacoralla)；最早出现于中三叠世，是中生

代及现代的主要造礁生物，现代海洋中相当繁盛。复体最多，也有单体，单体是在侏罗纪才渐繁盛，白垩纪和新生代发展很快。四射珊瑚的特点是隔壁以六的倍数增长，彼此平行，呈辐射状排列。单体四射珊瑚在海底以锥顶直立固着海底生活，不象四射珊瑚那样发生弯曲。现代四射珊瑚在清澈的浅海中分布极广。

3. 床板（横板）珊瑚（Tabulata）：最早出现于晚寒武世，延至古生代末。也有少数延至中生代（刺毛珊瑚，由奥陶纪至侏罗纪），绝大多数生活于古生代。全为群体，特点是横板特别发育，个体是细长管状，复体常呈块状、分枝状、笙状等。

表 2-1 常见珊瑚种类和分布地质时代〔4〕

名	称	单体	复体	分 布 时 代
四 射 珊 瑚	扭心珊瑚 <i>Streptelasma</i> Hall	*		中奥陶世~中泥盆世
	内沟珊瑚 <i>Zaphrentoides</i> Stuckenberg	*		早石炭世
	拟包珊瑚 <i>Amplexoides</i> Wang	*		志留纪
	十字珊瑚 <i>Stauria</i> Edward et Haime		*	志留纪
	速壁珊瑚 <i>Tachylasma</i> Grabau	*		二叠纪
	杯珊瑚 <i>Cyathophyllum</i> Goldfuss	*	*	中泥盆世
	多角珊瑚 <i>Hexagonaria</i> Gürish		*	中、晚泥盆世
	费亿星珊瑚 <i>Phillipsastraca</i> d'Orbigny		*	泥盆纪
	犬齿珊瑚 <i>Caninia</i> Michelin	*		石炭纪~二叠纪
	泡沫内沟珊瑚 <i>Cystiphrentis</i>	*		早石炭世
	假乌拉珊瑚 <i>Pseudouralinia</i> Yü	*		早石炭世
	贵州珊瑚 <i>Kueichouphyllum</i> Yü	*		早石炭世
	袁氏珊瑚 <i>Yuanophyllum</i> Yü	*		早石炭世
	珊瑚 <i>Dibunophyllum</i> Thomson et Nicholson	*		石炭纪
珊 瑚	石柱珊瑚 <i>Lithostrotion</i> Fleming		*	石炭纪
	朗士德珊瑚 <i>Lonsdaleia</i> M'Coy		*	早、中石炭世
	多壁珊瑚 <i>Polythecalis</i> Yabe et Hay- asaka		*	二叠纪
	卫根珊瑚 <i>Waagenophyllum</i> Hayasaka		*	上石炭世~二叠纪
	文策(文采尔)珊瑚 <i>Wentzelella</i> Grabau		*	二叠纪
	拖鞋珊瑚 <i>Calceola</i> Lamarck	*		泥盆纪
珊 瑚	泡沫珊瑚 <i>Cystiphyllum</i> Lonsdale	*		志留纪

续表

名	称	单体	复体	分 布 时 代
六 射 珊 瑚	高壁珊瑚 <i>Montlivaltia</i> Lamaroux	*		三叠纪~第三纪
	厚壁珊瑚 <i>Thecosmilia</i> Edwards Haime		*	三叠纪~白垩纪
	菌珊瑚 <i>Fungia</i> Goldfuss	*		白垩纪~现在
	互通珊瑚 <i>Thomnasteria</i> Lesauvage		*	三叠纪~第三纪
床 板 珊 瑚	蜂房珊瑚 <i>Favosites</i> Lamarck		*	奥陶纪~二叠纪
	米氏珊瑚 <i>Michelinia</i> de Koninck		*	泥盆纪~二叠纪
	笛管珊瑚 <i>Syringopora</i> Goldfuss		*	志留纪~石炭纪
	早板珊瑚 <i>Hayasakala</i> Lang et Smith		*	石炭纪~早二叠世
	链珊瑚 <i>Halysites</i> Fischer		*	晚奥陶世~晚泥盆世
	刺毛珊瑚 <i>Chaetetes</i> Fischer et Eich- ward		*	奥陶纪~侏罗纪 石炭纪最多
	喇叭珊瑚 <i>Aulopora</i> Goldfuss		*	奥陶纪~石炭纪
	日射珊瑚 <i>Heliolites</i> Dana		*	奥陶纪~泥盆纪 志留纪最多

注：表中“*”为所属单(复)体。

珊瑚化石在全世界分布很广，都在石灰岩地层中，我国亦是如此。今将上述三目珊瑚的分布时代列于表2-1中。

二、层孔虫 (Stromatoporidae)

层孔虫属腔肠动物门水螅纲，为海生群体生物，营固着底栖生活。最早出现于中寒武世，奥陶纪、志留纪、泥盆纪时最繁盛，石炭纪以后逐渐减少，白垩纪末全部绝灭。

层孔虫也是海洋中重要的造礁生物，往往形成巨厚的造礁石灰岩。石灰岩多属泥质石灰岩，可能说明层孔虫喜欢居住在石灰质淤泥的海底。一般分布于广海近岸，浊度低，沉积较缓慢的地带。在适宜的条件下发育成块状、球状，不太适宜条件下成层状、透镜状，安静浅水中的单层层孔虫成树枝状。适应的海水盐度稍广，可生活于泻湖环境。体大(群体)一般为数十厘米或大于2米，小的不到1厘米。在古生代经常与珊瑚和藻类伴生，在中生代与珊瑚和厚壳蛤伴生。

硬体由横的灰质薄层 (Laminae) 和与它垂直的灰质支柱 (Pillars) 组成, 还有体管、星状沟、管状珊瑚管等。常见的代表有星状层孔虫 (*Actinostroma* Nicholson), 志留纪中最多; 方格层孔虫 (*Clathrodictyon* Nicholson et Murie), 志留纪至泥盆纪; 层孔虫 (*Stromatopora* Goldfuss), 志留纪至泥盆纪; 方格层孔虫 (*Clathrodictyon* Nicholson et Murie), 志留纪至泥盆纪; 双孔层孔虫 (*Amphipora* Schubz), 泥盆纪至二叠纪, 泥盆纪最多⁽⁴⁾。

白垩纪末层孔虫绝灭后, 水螅纲的千孔虫 螅目 (*Milleporina*) 和柱星螅目 (*Stylasterina*) 代之兴起, 直到现代。

三、苔藓动物 (Bryozoa)

苔藓动物大多数生活在海洋中, 少数生活在淡水里, 完全是群体生物。体(群体)微小, 一般硬体只有几毫米, 属微体生物, 最大的可达50厘米。海洋生活的苔藓虫分泌钙质骨骼, 能保存为化石; 淡水苔藓虫分泌角质——几丁质骨骼, 不易保存为化石。从奥陶纪到现代分布于世界各地。

苔藓虫在幼虫期营漂浮生活, 定居下来后营固着底栖生活, 固着物极广泛。还有部分苔藓虫群体平铺海底, 并不固着, 多见于海水较平静的地区, 还有少数营漂浮或假漂浮生活。

苔藓虫生活和分布受海水的深度、水的流动强弱、海底性质、海水温度、盐度、清洁度的影响。

现代苔藓虫分布从潮汐带开始, 集中在陆棚上部, 即多数生活在水深0~200米的浅海区, 一般在离海面25~60米深的海水内为最多。少数分布在400米以下, 个别发现于深1900~5000米深水地带。古代苔藓虫, 从化石的围岩推测, 也多数是浅海生物。

生活在潮汐作用带、波浪作用频繁地区的苔藓虫, 群体呈层状或皮壳状, 附着海底, 以免被海浪击毁。某些苔藓虫具口盖, 当海水退潮, 暴露于阳光下时, 虫就缩进虫室, 避免无水和干旱, 可达两天不死, 以待海水再来。另一些苔藓虫则固着在砾

石、藻类或其它物体上。在海水流动较弱的静水区，如港湾、礁体内侧、潮下低能带或较深海区，由于波浪作用弱或不能达到，群体呈向上生长的细枝状、漏斗状、网格状，并在其下部形成类根状组织固着在海底软泥内。此外，苔藓虫也可以成为半球状或块状，平铺在海底岩石上，不一定固着。

现代砂砾沉积的海底，有大量苔藓虫繁殖，因为这里水流通畅，氧气和食物供应充足，同时有坚硬固着地点，比软泥海底有

利。但是纤细的骨骼易碎，不易在此保存为化石。古代化石保存最好的是在两层石灰岩中间所夹的页岩中，其次是不太纯的石灰岩中。

苔藓虫对海水温度的适应范围较广，热带至寒带都有，种属不同，但以热带为多。古代苔藓虫在热带和亚热带浅海特别繁盛。

虽然苔藓虫对海水的含盐度比珊瑚和棘皮动物有较大的适应性，但是仍有一定限度，只有少数类型可以适应含盐度低至20‰的沿岸潮汐地带、河流入口、微淡化的泻湖海湾区，但当含盐度发生显著变化时，苔藓虫便大批死亡。所以古代苔藓虫仍被认为是代表正常盐度的海洋生物。

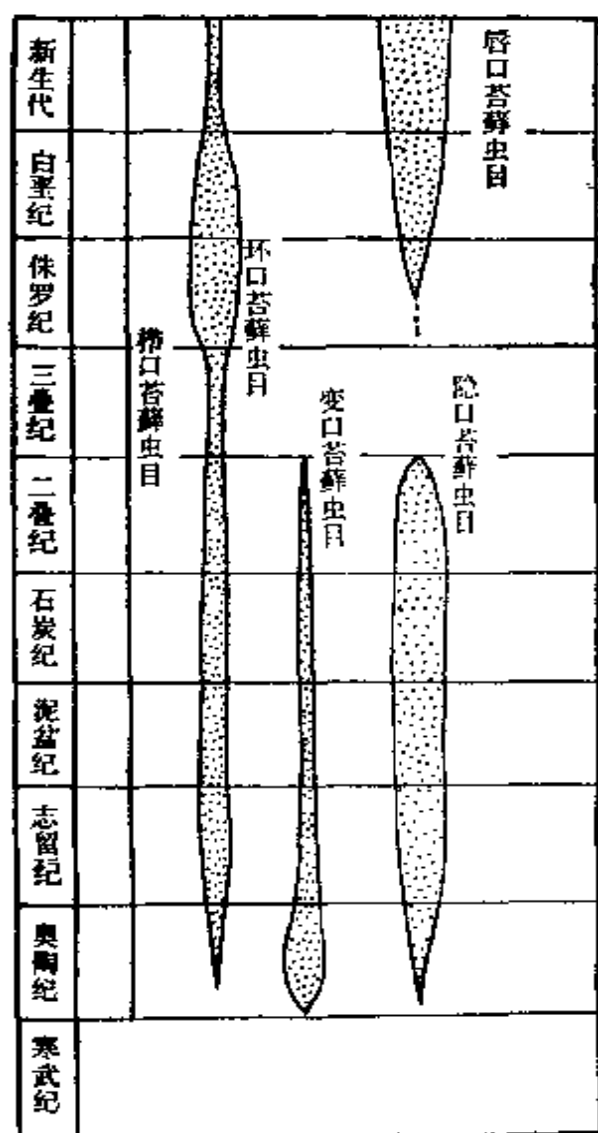


图 2-1 苔藓动物的地质分布〔4〕

苔藓虫对海水清洁度的要求虽然不如珊瑚那样严格，但若有大量泥砂注入水中也会使之死亡。因为苔藓虫以水中悬浮生物为

食，它喜欢比较清澈而稍微动荡的海水环境。

苔藓虫化石最早见于早奥陶世，而在晚寒武世也曾找到过类似苔藓虫的化石，在志留纪和泥盆纪时已能形成小型礁体，上古生代开始能形成巨大礁体。苔藓虫在我国广泛分布。不同的目，分布时代范围有变化。常见的有栉口目 (Ctenostomata)、环口目 (Cyclostomata)、变口目 (Trepotomata)、隐口目 (Cryptostomata)、唇口目 (Cheilostomata)，其分布地质时代如图2-1和表2-2所示。

表 2-2 苔藓虫种类和分布时代 [4]

名	称	分布的地质时代
栉口目 Ctenostomata		奥陶纪~现代(化石少， 现代海洋中相当繁荣)
环口目 Cyclostomata	笛管苔藓虫 Fistulipora McCoy 锥管苔藓虫 Stomatopora Bronn 米克苔藓虫 Meekopora Ulrich	奥陶纪~二叠纪 (泥盆纪至二叠纪最多) 奥陶纪~现代 志留纪~二叠纪
变口目 Trepotomata	同孔苔藓虫 Homotrypa Ulrich 赫尔苔藓虫 Hallopore Bassler 奥宾尼苔藓虫 Orbignyella Ulrich 单孔苔藓虫 Monotrypa Nicholson	奥陶纪~志留纪 奥陶纪~泥盆纪 奥陶纪~泥盆纪 奥陶纪~泥盆纪
隐口目 Cryptostomata	网格苔藓虫 Fenestella Lonsdale 多孔苔藓虫 Polypora McCoy 羽网苔藓虫 Pennisetopora d'Orbigny	志留纪~二叠纪 志留纪~二叠纪 泥盆纪~二叠纪
唇口目 Cheilostomata	我国尚未发现	侏罗纪、白垩纪

地层中常见苔藓虫化石与具铰腕足类共生，此外，也见与某些瓣鳃类、有孔虫、三叶虫、介形虫、稀少的珊瑚等共生。但是苔藓虫虽然自己能形成礁体，但它们却很少在珊瑚礁和藻礁内大量发现，甚至也很少在非礁相但含大量珊瑚化石的石灰岩内、以及其它生物灰岩内发现。

四、腕足类 (Brachiopoda)

腕足类为海相底栖的单体生物，从寒武纪到现代分布世界各地，古生代末期很多种属灭绝，现代为数不多，约250多种。

腕足类只在短暂的幼虫时营游泳生活，以后便以肉茎附着海底定居下来，也有一些种类利用宽阔的壳瓣和壳刺自由地躺在海底生活，如扭月贝 (*Strophomena*)，也有的在砂泥海底掘穴生活，如舌形贝，又称海豆牙 (*Lingula*)。喜群居。

腕足类绝大多数为狭盐性的正常海相生物，只有少数如舌形贝可生活于潮汐带，适应稍淡化的海水。

现代腕足类的分布深度范围比较广，浅水地区为主，深水区也有。其中，无铰纲腕足类大多生活在浅海，舌形贝生活在潮汐带附近水深小于40米的地带，只有个别种类偶尔达到100米深处。有些有铰腕足类分布在30~200米深的地带。古生代和中生代的腕足类化石，据围岩的岩性和伴生化石推测，也主要分布于陆棚区上部水深几米至几十米地带，第三纪开始才有一部分种属向深水迁移。浅海腕足类的外壳比较坚厚，深水生活的腕足类与浅水种类相比，壳变薄变脆。

腕足类适应的温度范围也比较广，热带到寒带均有，但以热带和温带最多。

腕足类能适应多种多样的海底，多数生活在坚硬的石质海底上，但是细砂或灰泥海底也能生活。一般地说，海水太混浊，纯淤泥质海底不适于腕足类生活，因而粘土岩中腕足类化石发现少。舌形贝可在淤泥海底穴居。

腕足类以悬浮有机物为食，喜爱生活在清清明亮的较安静或

微运动的海底，没有强烈的水流冲刷，沉积物堆积得不太快，但由于它们有较完好的摄食、排泄系统和关闭贝壳的能力，也能忍受较大的混浊度。

腕足类喜群居，贝壳时常密集一地，甚至堆积成岩，如云南盘溪中泥盆世中的鸚头贝有时密集成岩。古代生物礁相中，腕足类化石甚多，但现代礁相中，腕足类少。

腕足类的硬体有两个壳瓣，利用体筋可以自由开合，两壳大小不等，腹壳大，其后端有一小孔，供肉茎伸出，壳表面常具放射状褶和同心状的纹，中槽和中隆起等壳饰，也有的壳面光滑。腕足类的外形很象瓣鳃类，但是腕足类的两壳不等，左右对称，具三角面和三角孔、中隆、中槽等特征以区别于瓣鳃类。

腕足类根据铰合构造的有无，分为无铰纲和有铰纲。无铰纲壳瓣多由几丁质或几丁质-钙质组成，构造简单，演化缓慢，曾繁盛于寒武纪，奥陶纪后逐渐衰落，是下古生代的标准化石，如舌形贝、圆货贝 (*Obolus*)。有铰纲的壳瓣为钙质，构造较复杂，演化较快，虽然在早寒武世开始出现，但到奥陶纪才开始繁荣，泥盆纪时的石燕、小咀贝，石炭二叠纪的长身贝极多。志留纪、泥盆纪是腕足类的极盛时代。腕足类某些重要超科的地史分布如图2-2所示。

我国奥陶纪、志留纪地层中，已有丰富的腕足类化石。泥盆纪、石炭纪、二叠纪地层中，腕足类化石很重要，常见下列一些标准属：

扬子贝 (*Yangtzeella*) ——分布于我国南方下奥陶统上部及中奥陶统。

五房贝 (*Pentamerus*) ——分布于世界各地的中、上志留统。

鸚头贝 (*Stringocephalus*) ——分布于北半球中泥盆统。如云南中泥盆统中极多。

无洞贝 (*Atrypa Dalman*) ——分布于中志留统至下石炭统。如云南中泥盆统中很多。

中国石燕 (*Cyrtospirifer = Sinospirifer*) ——分布于世界各

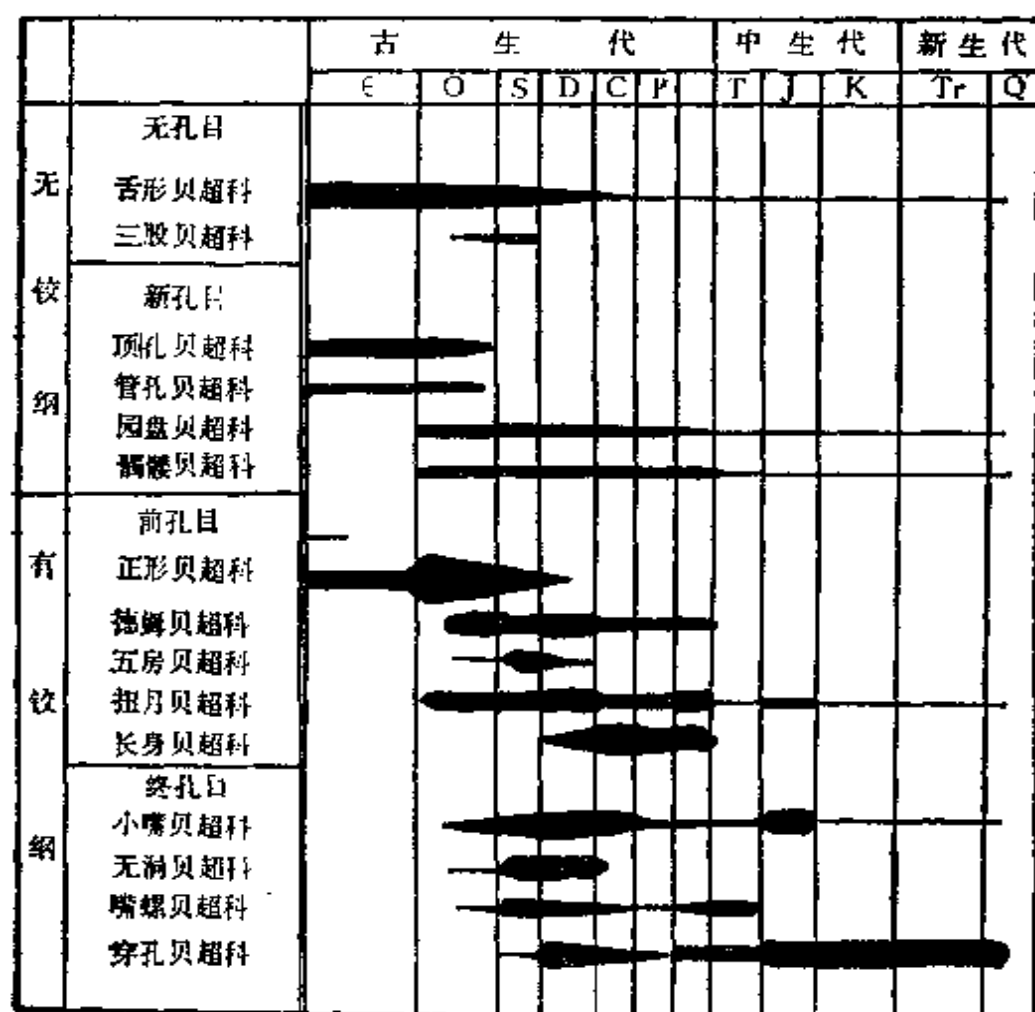


图 2-2 腕足类某些重要超科的地史分布 [4]

地的上泥盆统。

巨长身贝 (*Gigantoproductus*) —— 分布于亚洲北部的下石炭统。

分喙石燕 (*Choristites*) —— 分布于亚洲北部和欧洲的中、上石炭统。

肋叶贝 (*Oldhamina*) —— 分布于我国南方和印度的上二叠统。

扬子长身贝 (*Productus Yangtzeensis*) —— 分布于江西、湖北、贵州、江苏的上二叠统乐平煤系。

五、棘皮动物 (*Echinodermata*)

棘皮动物全都是海生单体动物，多数营底栖生活，但是有一

些自由活动的种类偶尔进入半咸水的泻湖和海湾中。从寒武纪到现代分布世界各地。按生活方式分两个亚门。

1. 底栖固着的有柄亚门 (Pelmatozoa)

以柄固着海底生活，包括海林檎 (Cystoidea)、海果 (Carpidea)、海冠 (Edrioasteroidea)、海蕾 (Blastoidea) 和海百合 (Crinoidea) 等纲，除海百合生活到现代外，其它都已灭绝。

古代海百合曾经群居，生活在浅海，群居地点集中在陆棚上部浅水滨海区。地层中发现的海百合化石多系散开的柄环，很难找到完整的萼部和根部，礁体内侧的化石较完整一些。现代海百合多生活在清洁的 400~500 米深的水中，少数生活于浅水弱光带，生活方式变得更多样化，与古代海百合生活环境有很大差别。化石最早见于早寒武世，古生代分布很广，早石炭世时最繁盛，常构成海百合灰岩。西南地区二叠系灰岩中海百合很多。

2. 底栖爬行的无柄亚门 (Eleutherozoa)

包括海胆 (Echinoidea)、海星 (Asteroidea)、蛇尾 (Ophiuroidea)、海参 (Holothuroidea) 等纲。都生活到现代，除海胆外，其它几纲缺乏硬壳不易保存化石。海胆化石最早见于奥陶纪，石炭、二叠纪灰岩中常见海胆的骨板和棘刺。

现代海胆动物适应海水温度范围度比较广，以温暖海洋中种属较多；适应深度也很大，从海岸到 6000 米深度的水体中都有分布，主要分布在水深 100 米的范围内，但很少在滨海潮汐带，因它对盐度很敏感。

棘皮动物的骨骼化石由许多多孔的骨板组成，骨板多呈五轴对称，少数也有两侧对称的。每一个骨板都是一个方解石单晶体，板中央有圆形或五角形的孔。骨板上留有许多小孔，在薄片下骨板显示灰色，以区别于其他成因的明亮的方解石。骨板大小一般为一毫米到数厘米，横切面呈圆形或五角形，纵切面呈矩形。海胆棘刺显示内部辐射式样，中空，横切面在正交光下示低的双折射色或者消光。

六、海绵动物(Porifera或Spongia)

海绵是最原始的多细胞动物，有单体和群体，可以造礁。绝大多数为海生，只有一种营淡水生活。大多数营底栖固着生活，只有少数在其他动物贝壳上钻孔。从寒武纪到现代均有发现。

海绵主要繁殖在海水轻微到中等动荡的地区，固着在坚硬的底层上生活，不能忍受粉砂的覆盖，所以主要繁殖在沉积缓慢的地区。

海绵动物门根据骨骼的性质和组成，分为三个纲：

1. 钙质海绵：骨骼由钙质骨针组成，骨针呈双射单轴、三射、四射等形态，生活在水深小于120米的正常浅海中，在小于



于10米的潮下地带最丰富。分布于石炭纪至二叠纪，我国西南地区下二叠统石灰岩中，钙质海绵很多，有的成为造礁生物之一。例如一种钝管海绵，体形似葫芦，直或稍弯曲，长几至十几厘米，横切面呈圆形，直径大者达3厘米，中心有一圆管。单个出

图 2-3 海绵群体形态〔4〕 现或群集，如图2-3所示。

2. 玻璃海绵：骨骼由硅质骨针组成，骨针各射常以直角相交，四射或更多射，生活于较深的海水中，在200米深度以下最为丰富，但在永久冰层下面它们可以局部向上扩展到小于100米深度的地方。本纲中常见的有原始海绵 (*Protospongia* Salter)，分布于早寒武世至奥陶纪；刺角海绵 (*Hydnoceras* Conrad)，分布于晚泥盆世至石炭纪；星骨海绵 (*Astraeospongium* Roemer)，分布于志留纪至泥盆纪。

3. 普通海绵：骨骼多含硅质骨针，含或不含角质骨丝，骨针之间以60或120度相隔。生活在各种深度的海水中，少数生活在潮间带、半咸水、甚至是淡水中。生活在淡水中的这类海绵的

骨针与硅质海绵的骨针有些相似。本纲除石海绵目(Lithistida)以外,其它不易形成完整化石。古代某些燧石层由本纲化石构成,分布于寒武纪至现代,奥陶纪以后较多,白垩纪时最丰富。石海绵的骨骼多是网形针,骨针呈四射或六射,主要代表化石为钵海绵(Astylospongia Roemer),属奥陶纪至志留纪。

现代海绵分布极广,浅海最多,深海亦有,赤道和两极海洋也有,形状类似,因此海绵化石不能作古温度的指示。

七、有孔虫(Foraminifera)

有孔虫属原生动物门的根足虫纲。从奥陶纪起到现代,广泛地分布于世界各地的海相环境中,以石炭纪和二叠纪、白垩纪和早第三纪时期最为兴盛。

大部分有孔虫为正常海相生物,少数生活在半咸水中,仅带壳变形虫(Thecamoebina)生活在淡水中,如砂壳虫(Diffugia)、表壳虫(Arcella)。

大多数有孔虫都营底栖生活,主要为底栖爬行生活,部分为底栖固着生活。少数有孔虫营浮游生活,如现代大洋中的球形的抱球虫(Globigerina)和Globorotalia、Orbulina等如图2-4。

大多数有孔虫属微体生物,个体都小于1毫米,但大的可达5厘米或更大。壳体物质有两种:胶结壳,由细粒碎屑物质胶结而成,如串珠虫亚目;钙质壳,由碳酸钙组成,其中又分为透明钙质壳如轮虫亚目,瓷质壳如粟米虫亚目。

有孔虫的分布受海水深度、温度、盐度、海底地形、水流和底质性质等因素的影响。

现代底栖有孔虫主要分布在浅海,个别的可达4000米深的海底,近岸地带的以砂质胶结壳占优势,开阔的浅海及向海更深处,都以钙质壳占优势。浅海陆棚以外,浮游有孔虫所占的比例增加。现代浮游有孔虫集中生活在海水上层(0~100米),少数可达1000米深,它们死后可下沉到深海底部。底栖有孔虫分布受深度影响特别显著,据苏联远东海洋资料,分六带,如图2-5

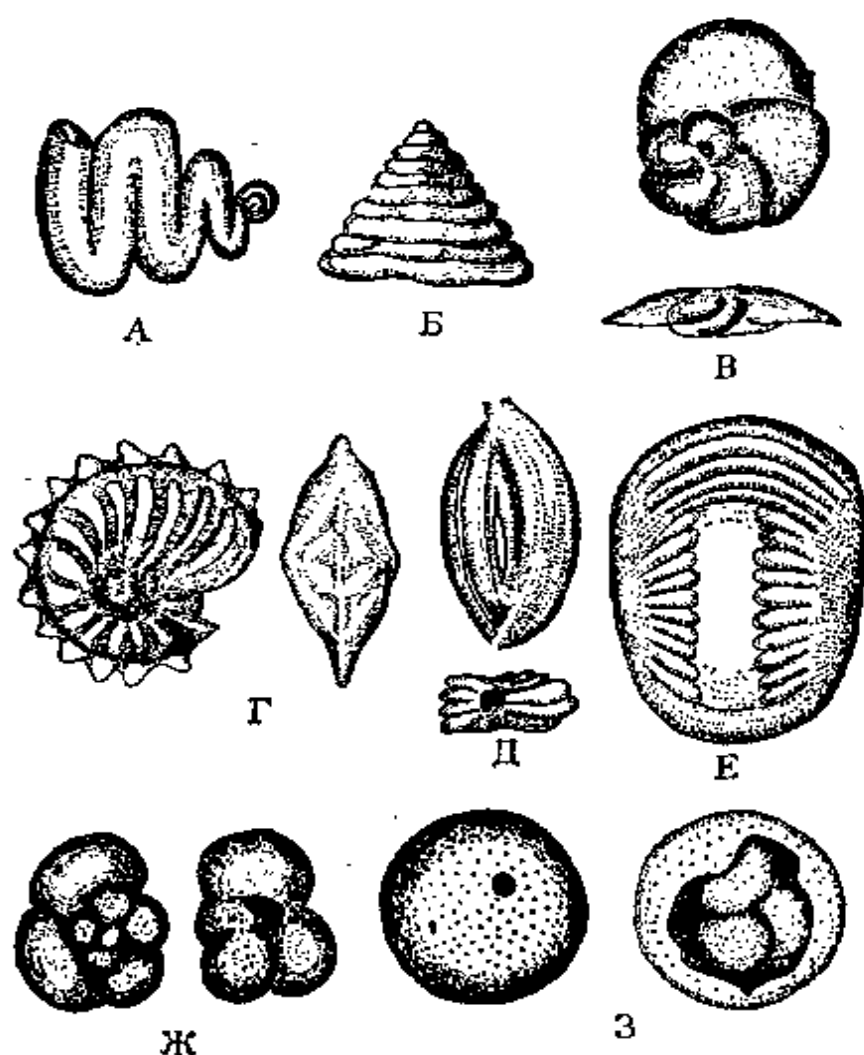


图 2-4 几种不同生活方式的有孔虫 (1)

A—底栖固着的: *Ammonia*; Б—Д—底栖爬行; Б—*Tetrataxis*;
B—*Discorbis*; Г—*Elphidium*; Д—*Miliolina*; E—Ж—浮游生活;
E—*Staffella*; Ж—*Globigerina*; 3—*Orbulina*

所示。

有孔虫虽然广泛分布于不同纬度，但是主要分布于热带和亚热带。随着水温增加，有孔虫数量增多，个体增大，壳壁增厚。大型有孔虫如现代的货币虫，石炭-二叠纪的錢都主要分布在热带浅海，营底栖爬行生活。浮游有孔虫受温度影响，有明显的分带，如图2-6所示。

有孔虫主要分布在正常海水环境中，除此之外，还分布于两

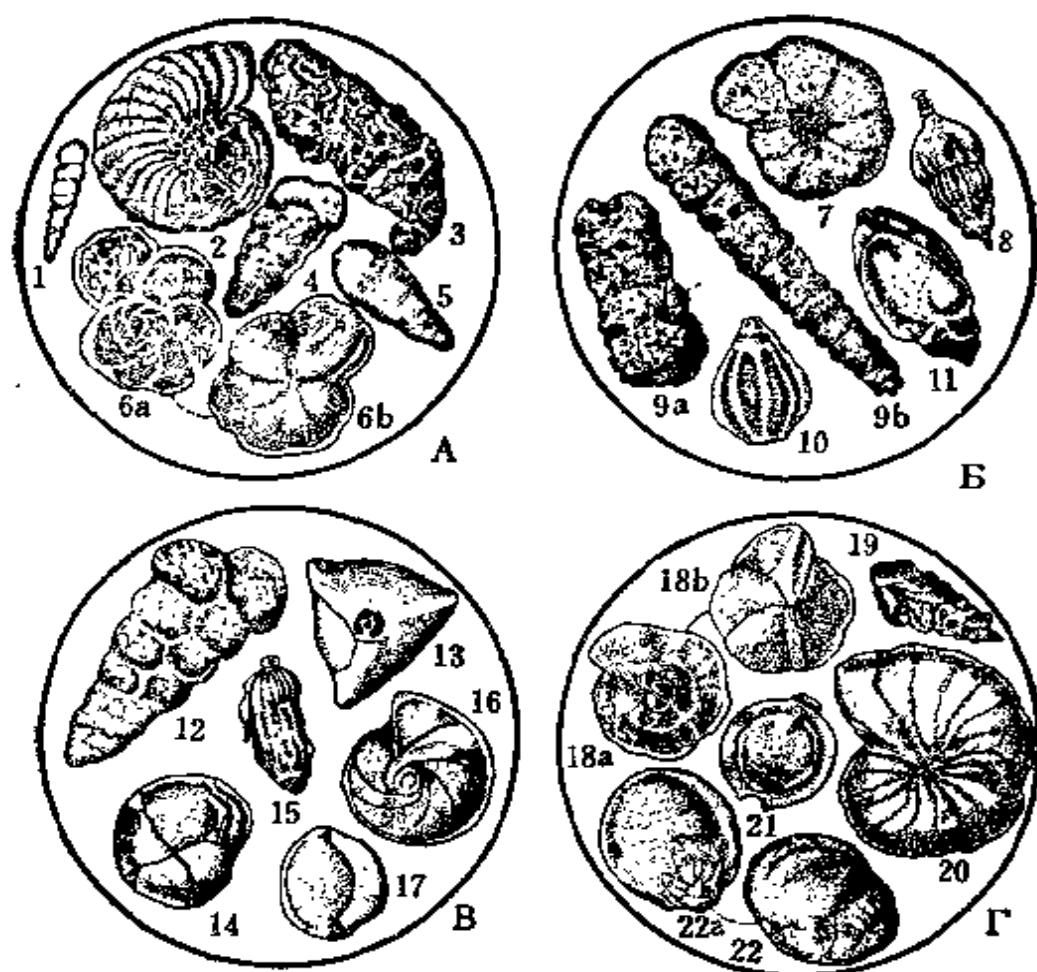


图 2-5 远东海洋不同深度的底栖有孔虫组合 (未附滨海带组合)

A. 亚滨海带有孔虫: 1—*Ammofrondicularia arctica*, $\times 40$; 2—*Elphidium Oregonense* Var *recens*, $\times 12$; 3—*Ammobaculites cassis* Var *inflata*, $\times 9.6$; 4—*Verneuilina adueno*, $\times 52$; 5—*Hippocrepina indiuisa*, $\times 20$; 6—*Cibicides lobatulus*; a. 背面、b. 腹面, $\times 20$; B. 浅海带有孔虫: 7—*Alveolophragmium orbiculatum*, $\times 9.6$; 8—*Nodosaria scalaris*, $\times 25$; 9—*Reophax bacillaris* a. 显球型, b. 微球型, $\times 44$; 10—*Lagena acuticostata*, $\times 32$; 11—*Bulimina auriculata*, $\times 40$; B. 半深海带 (上下部未划分) 有孔虫: 12—*Karrerilla baccata*, $\times 20$; 13—*Triloculina tricarinata* Var *Convexa*, $\times 9.6$; 14—*Cassidulina californica*, $\times 20$; 15—*Vuigerina peregrina*, $\times 25.6$; 16—*Robulus orbigny*, $\times 6.4$; 17—*Sigmoilina sigmoidea*, $\times 32$; Γ. 深海带有孔虫: 18—*Eponides tenerus*; a. 背面, b. 腹面, $\times 40$; 19—*Bolivina Sulspinescens*, $\times 52$; 20—*Cyclammina cancellata*, $\times 6.4$; 21—*Pyrgo murrhina*, $\times 32$; 22—*Chilostomellina fimbriata* a. 口面 (据З.Г.Щедрина, 1953) (1)

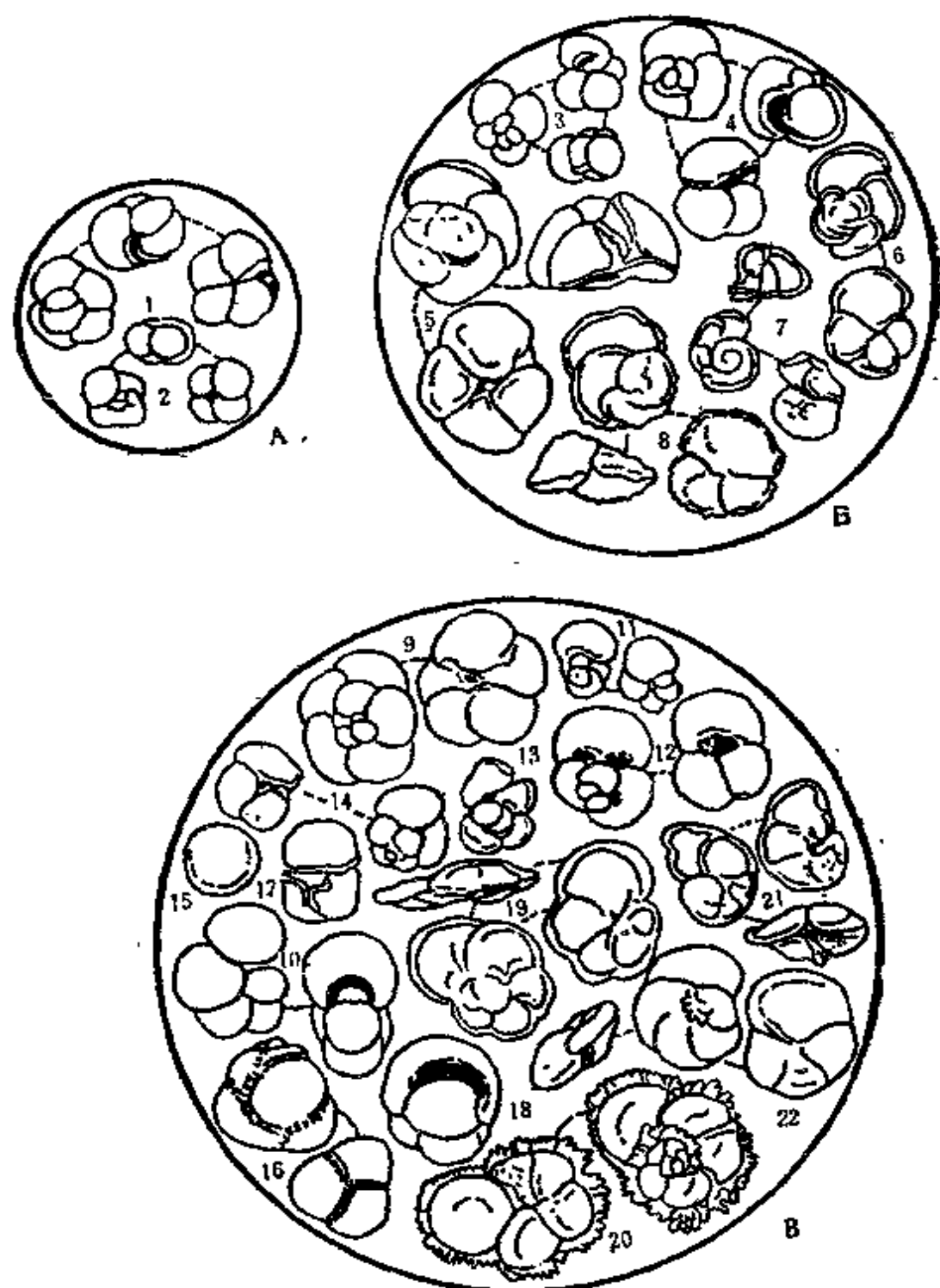


图 2-6 不同气候带浮游有孔虫的组合

A. 冷水(两极区)组合: 1—*Globigerina duterel*; 2—*G. pachyderma*;
 B. 温水(温带)组合: 3—*G. buloides*; 4—*G. inflata*; 5—*Globorotalia*
orassula; 6—*Gl. canariensis*; 7—*Truncorotalia truncatulinoides*; 8—*Gl. hirsuta*;
 B. 暖水(热带、亚热带)组合: 9—*Globigerinella dubia*; 10—*G. aeguilateralis*; 11—*G. aeguilateralis* Var *involuta*; 12—*Gl-
 obigeinoides ruber*; 13—*Glo. sacculiferus*; 14—*Glo. conglabatus*;
 15—*Orbidinella uni-versa*; 16—*Canadeina nitida*; 17—*Sphaeroidinella*
dehiscens; 18—*Pulleniatina obliquiloculata*; 19—*Globorotalia me-
 nardii*; 20—*Gl. menardii* var. *bimbrata*; 21—*Gl. tumides*; 22—*Gl.
 scitula* (据Brady, Parker, Phleger, Ovey 等 1952) (1)

种含盐度不正常的半咸水地区：一种是泻湖、河口地区的滨海边缘环境，这里含盐度偏低，且有季节性变化，有孔虫的种数和个数都有所下降，如我国现代长江口的有孔虫分布情况，由口外的数十种降至河口上段的十余种，壳型种类也有变化，如图 2-7 所示。美国墨西哥湾沿岸各泻湖，由北向南，随着气候变热变干，盐度增高，有孔虫群壳质的成分由胶结壳变为透明钙质壳，以至

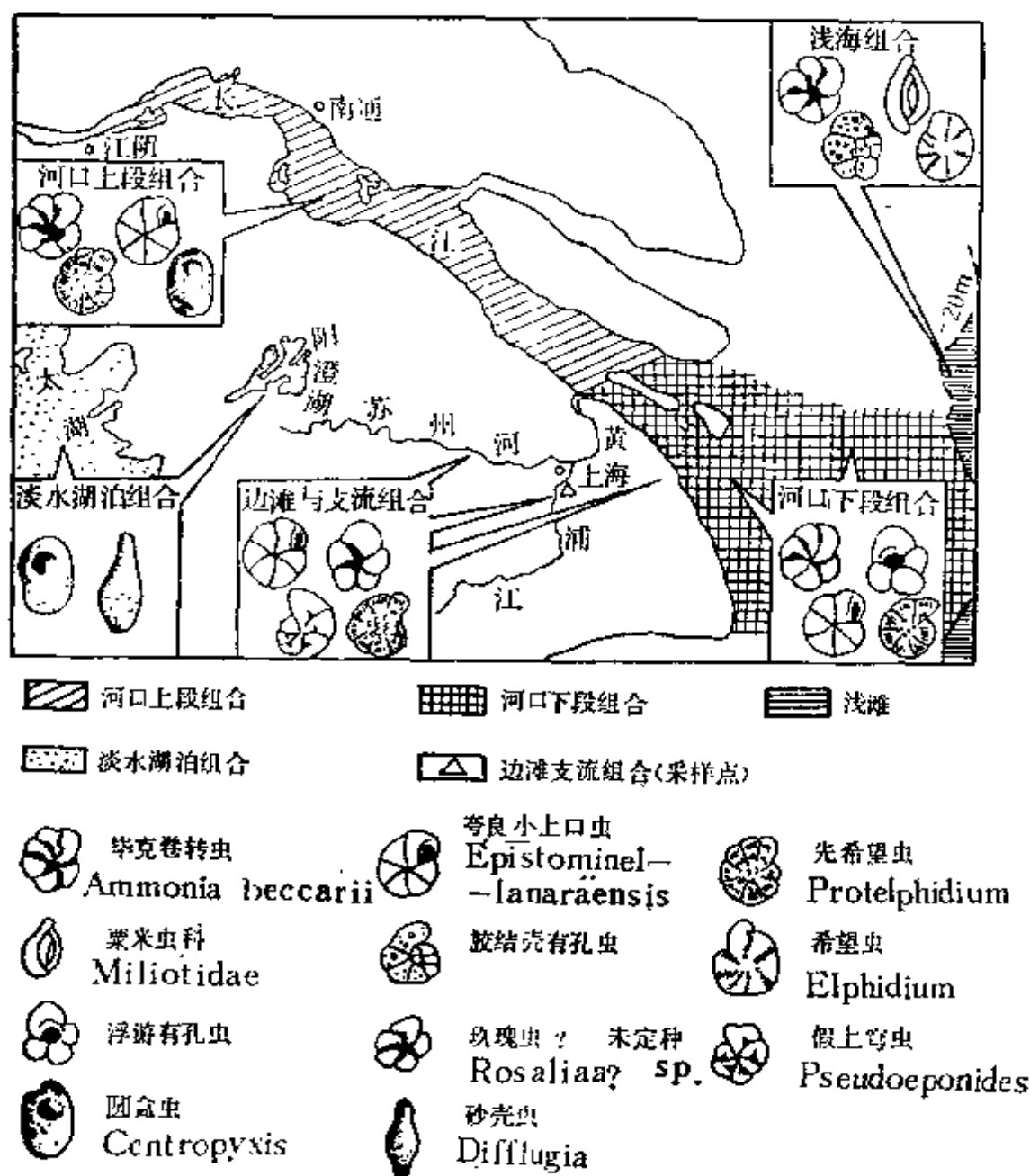
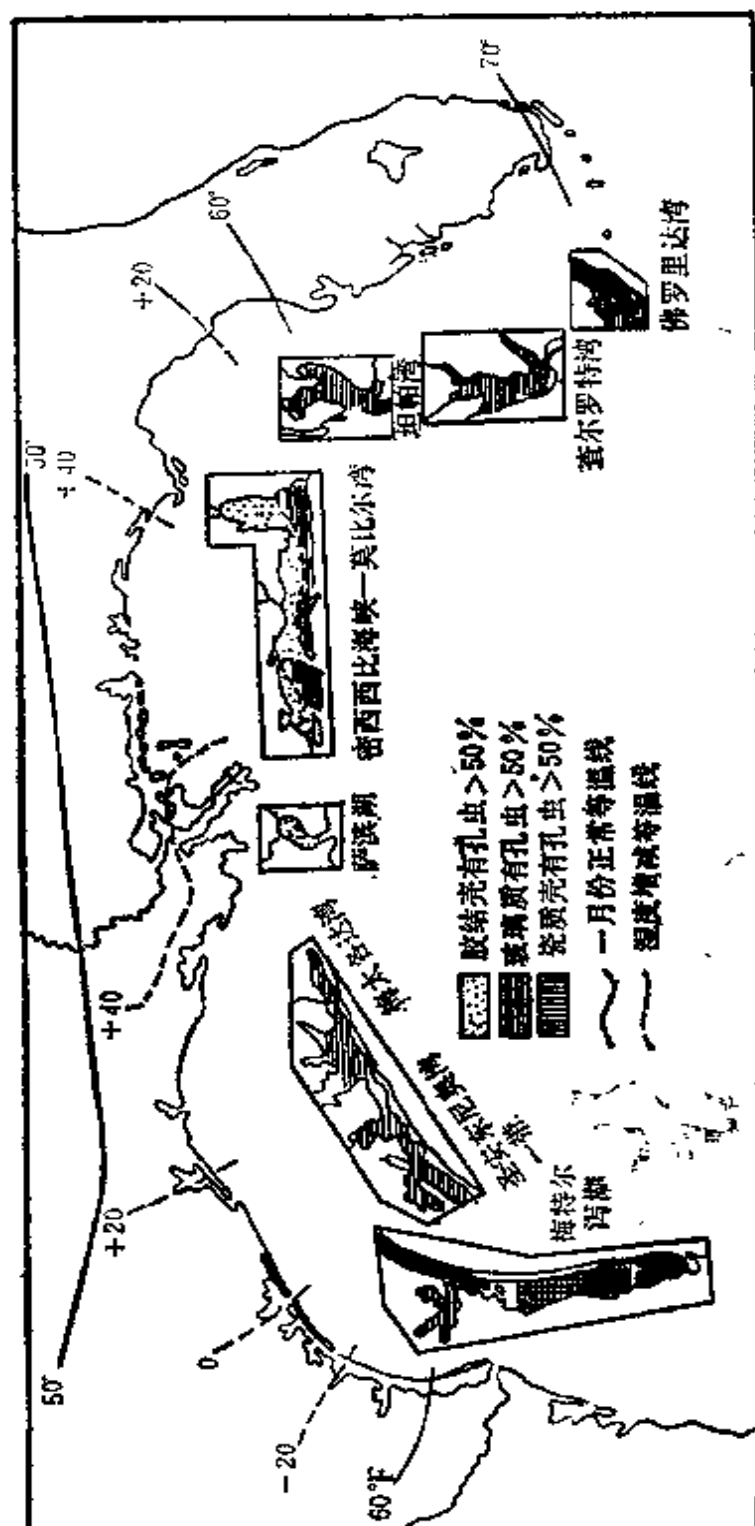


图 2-7 长江口的有孔虫、带壳变形虫组合分布示意图 [3]



瓷质壳，如图 2-8 所示。另一种是残留海水环境，即近期（多数属第三纪或第四纪）遭受过海侵，现在残留下内海、盐湖或地下水盆地中，含有海侵时的孑遗适应环境变化而残留下来的有孔虫。这些水盆地含有一定盐度，含盐度愈低时，有孔虫种属数量也愈少。超盐度的泻湖中，无有孔虫，因此原生的白云岩内很少发现有孔虫，含盐矿和石膏的地层中往往完全没有有孔虫。

半咸水有孔虫有下列特征：（1）属种单调，正常海水中，有孔虫有几十至百余种，半咸水环境中只有少数几种，其盐度分布的大致范围，如图 2-9 所示；（2）体小壳薄，壳饰弱；（3）种内变异大，畸形个体多；（4）特殊的共生组合，与非海相的软体动物、介形虫和轮藻等共生。

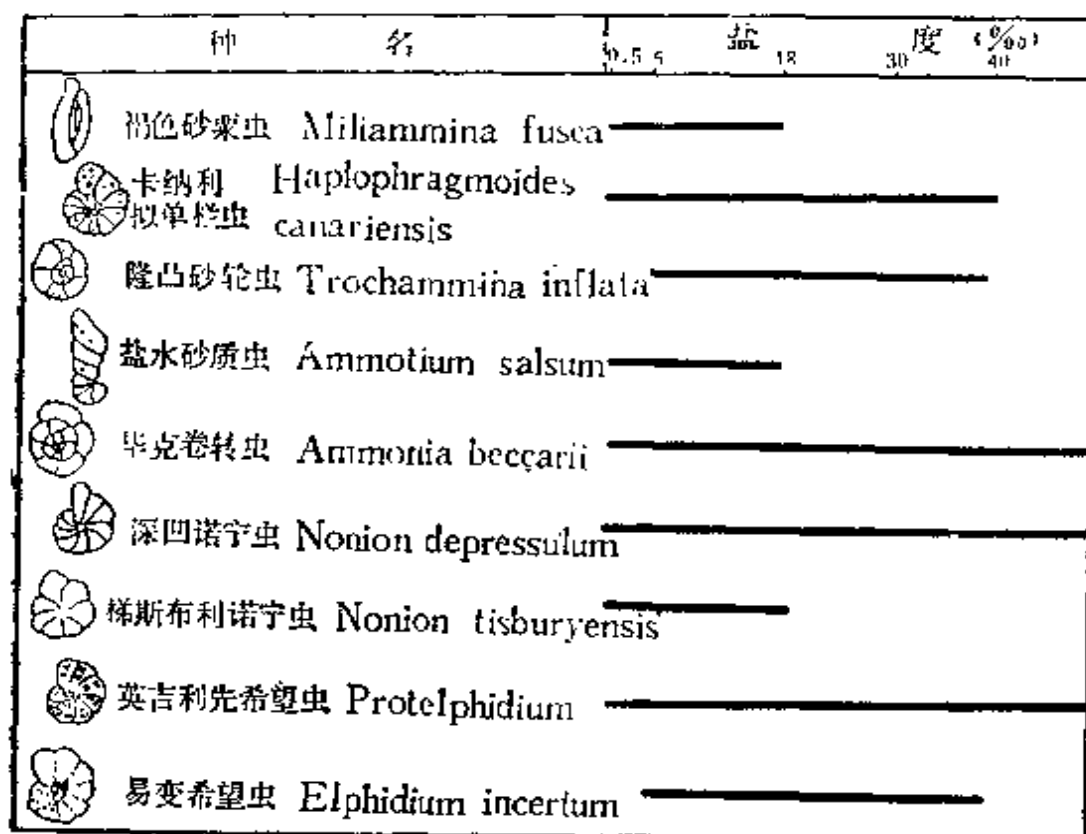


图 2-9 常见半咸水有孔虫盐度分布范围（据 Murray, 1968, Levy 1971 等）〔3〕

内陆盐湖与海水完全无联系者无有孔虫，如我国青海湖，只有介形虫，砂壳虫和表壳虫等带壳变形虫。

海底特征对有孔虫也有影响，如海底地形和水流影响有孔虫的分布（特别对底栖有孔虫），搬运和再沉积，有孔虫体小，易为洋流搬到异地沉积；海底沉积物性质对壳质成分有直接影响，具砂质胶结壳的有孔虫多生活在多细砂的海底，具钙质壳的有孔虫多生活在富含钙质的海底。

有孔虫常与其它海相生物，如海百合、海绵、珊瑚、层孔虫等堆积一起，形成礁和滩。世界上许多碳酸盐岩油田的砂屑灰岩储油层，是由有孔虫组成的，如利比亚泽勒坦油田第三纪的储集层，便是由 *Discocyclina*、*Miliolina*（粟米虫）等有孔虫组成的砂屑灰岩，当时为沙坝沉积，孔隙度很高，经常为30~35%，最高的可达40%，主要为粒间孔隙，性质与砂岩储集层相似，如图2-10所示。

有孔虫的个体小，种属多，在钻井岩心和砂样中容易取得，所以是详细划分对比地层的重要生物化石。在地史发展过程中，有孔虫（尤其是底栖有孔虫）在形态上变化较快，演化迅速，属种多。因此有些有孔虫常常成为某些时代的标准化石。如在石炭纪和二叠纪时期很兴盛但在二叠纪末灭绝的筴，是这两个纪的标准化石。其中 *Pseudostaffella*（假史塔夫氏筴）、*Fusulinella*（小筴）属石炭统，*Ouasifusulina*（似筴）、*Rugosofusulina*（皱壁筴）、*Pseudoschwagerina*（假希瓦格筴）属上石炭统，（*Nankinella* Lee（南京筴）、*Piso*（豆筴）、*Misellina claudiae*（克劳第米斯筴）属下二叠统下部，*Misellina*（米氏筴）、*Verbeekina*（费伯克筴）属下二叠统上部，*Palaeofusulina*（古筴）属上二叠统。

有孔虫是典型的海相化石，其种属分布受盆地深度、温度、海底性质等因素的影响而有不同变化，因此是划分沉积相，研究古沉积环境的很好标志。在古生态学研究中，以有孔虫的研究最为详细，文献报导甚多。最常见的是根据现代海洋中生活的有孔虫分布的深度与第三系白垩系地层中同种属有孔虫对比，推测古沉积深度。我国西南地区二叠系灰岩中筴很多，有时富集成滩。

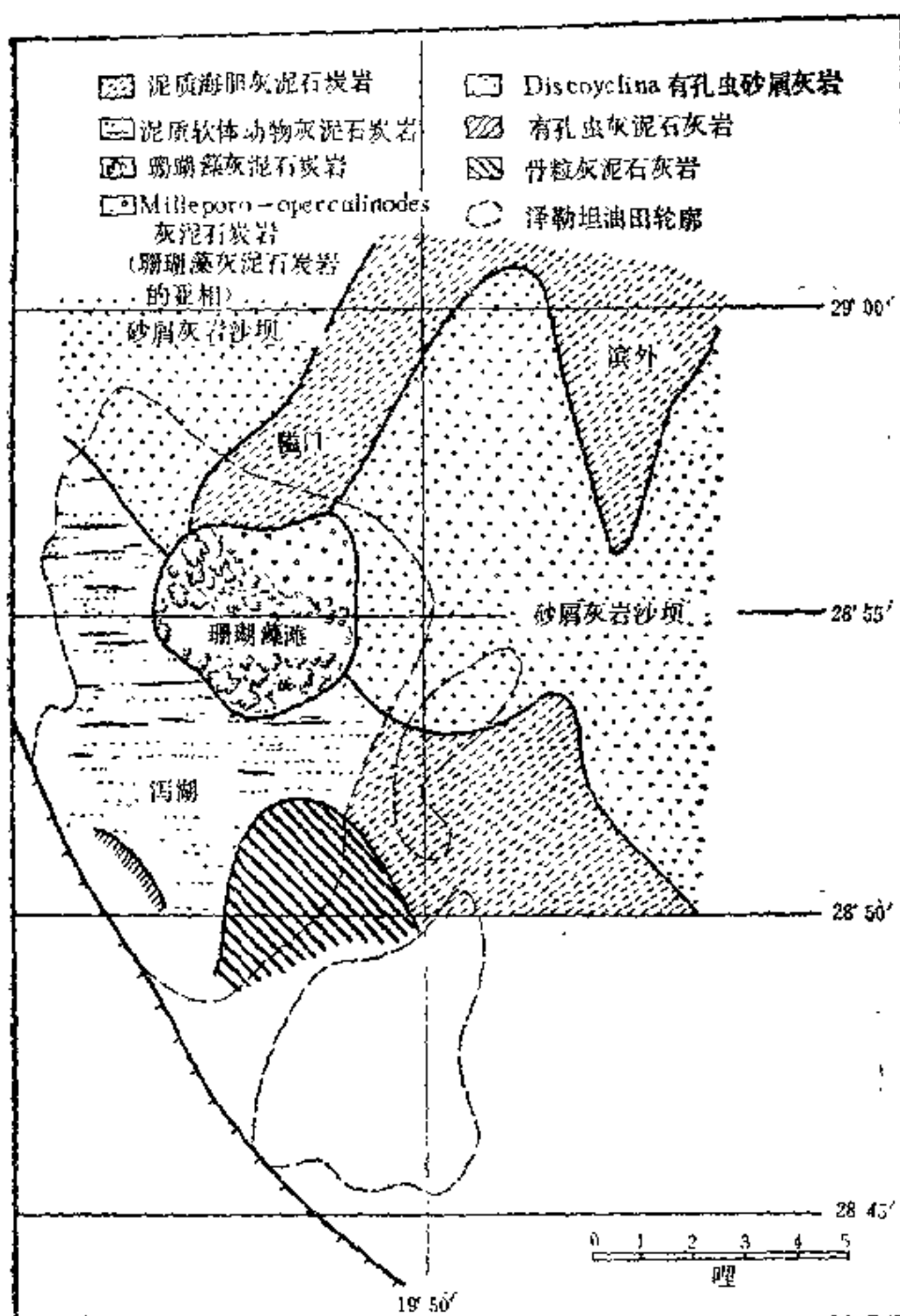


图 2-10 利比亚泽勒坦油田第三系储集层有孔虫砂屑灰岩的沉积相图(7)

八、瓣鳃类 (Lamellibrachiata)

瓣鳃类属软体动物门是一种广盐性生物，海水、半咸水、淡水中都有，种属很多，营底栖生活，从寒武纪到现代都有分布。

现代瓣鳃类种属甚多，在水底缓慢爬行或固着生活，活动范围小，不同沉积环境的种属不同，因此对研究生态和沉积环境有重要意义。

瓣鳃类的硬体为两个壳瓣，一般瓣鳃类的两壳大小相等，形状对称，称左右壳，但每一壳瓣两侧不对称；壳面光滑或具同心线、放射线、刺、瘤等壳饰；壳形一般呈圆形、椭圆形、心形。但是随着生活方式和生活环境不同，壳瓣特征也随之发生变异。

生活方式，主要为底栖，有多种方式（如图2-11所示）：

1. 底栖缓慢爬行，如美女蛤，壳形呈圆形或卵形。

2. 以壳的一部分或大部分固着海底，如马尾蛤、牡蛎。壳多发生变化，失去两壳大小相等的特点，甚至变为锥形，上壳变小呈口盖状，壳增厚增大。

3. 利用肉足挖泥在泥土中生活，如贻贝类（*Mytilus*），壳薄，壳面没有很多装饰。箱蛤居住在已有洞穴中生活，海笋钻入岩石中生活。穴居生物类型可忍受浊水和快速沉积。穴居的化石在壳内侧有深的外套窝，紧闭时壳末端有个开口。

4. 以丝足固着生活，如壳菜蛤。

5. 游泳生活，如海扇，只在幼年时才过附着生活，成年时是自由浮游生活。

瓣鳃类中只能适应正常盐度（32~35‰）在正常海水中生活的有：*Glycymeris*、*Solecurtus*、*Limopsis*、*Spondylus*、*Malletia*、*Amussium*；能适应变化较大的盐度的环境中生活的有：*Cardulæ*、*Corbulidae*、*Veneridae*、*Mactridae*；能适应淡化海甚至淡水环境的有 *Cyrenidae*、*Dreissenidae*；*Ostrea*（牡蛎）在河口、海湾等半咸水环境中很繁盛；只能适应淡水湖泊和江河的有：*Unionacea*、*Sphaeriacea*。壳饰也反映水体盐度，如在淡化水中，海生软体往往壳体变小，壳饰减弱，食用乌蛤（*Cardium edule* Linne）壳面的肋数随盐度而增减。

在海洋中生活的现代瓣鳃类，分布的深度范围很广，从滨海潮汐带直到千米以上深度的深海区都有，但多在浅海陆棚区和大

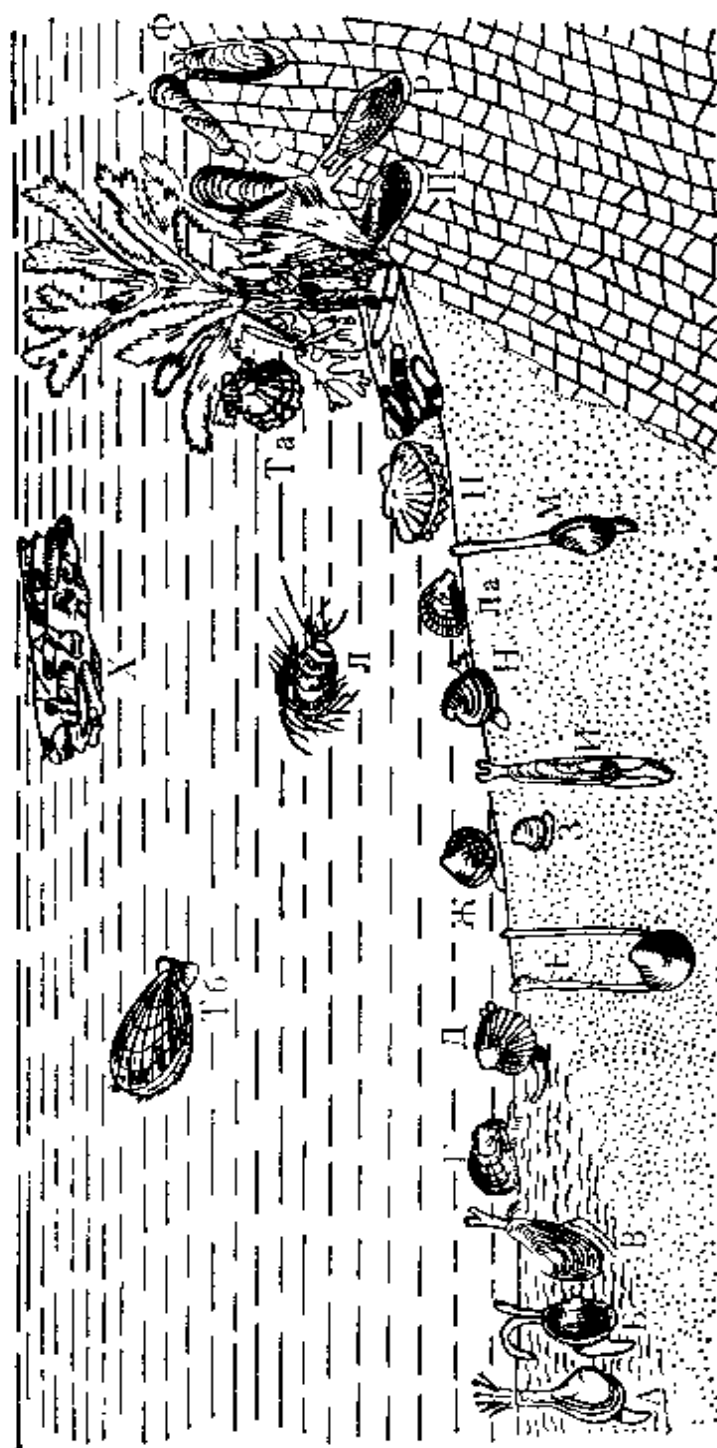


图 2-11 某些瓣鳃动物的生活方式

A—Cuspidaria; B—Abra; B—Leda; Г—Modiolus; Д—Cardium;
 Е—Thyasira; Ж—Glycymeris; З—Nueula; И—Ensis; H—Venus;
 Л—Lima; Лa—沿海底爬行; М—Mya; М—Pecten; П—Area; Р—Pho-
 las; С—Mytilus; Ta—幼虫以足丝附着在藻类上; Тб—游泳; Y—Ostrea
 (牡蛎); Ф—Lithophaga; X—Xylophaga; (根据米尔克林, 1960) [1]

陆斜坡地带，近岸处最多，有时形成贝壳滩，如现代的牡蛎滩。潮汐带生活者壳厚；深水中生活者壳薄易脆，半透明或透明。

瓣鳃类能生活在寒冷地区，虽然种属较少，但是个体较多，有 *Astarte*、*Macoma*、*Yoldia* 等属。温带和热带海洋中生活者壳体大，有 *Ostreidae*、*Spoudylacea*、*Chamacea*、*Carditidae*、*Arcidae* 等科和超科。

石质、砂质或泥质海底，均适于瓣鳃类生活，但生活在软泥中的较多。软泥海底生活的瓣鳃类壳较薄，而生活在石质海底的壳厚。

对于水底气体的适应，一部分居住在软泥水底或深水的瓣鳃类，可适应氧气含量变化较大的环境，如 *Leda*、*Arba*、*Thyasira*、*Cuspidaria* 等；生活在砂质或浅海区的瓣鳃类，仅能生活在氧气充足的环境，如 *Cardium*、*Cerastoderma*、*Acanthocardia* 和各种 *Ostrea*（牡蛎）。

大部分瓣鳃类以悬浮的浮游生物为食，少数“肉食”，而它本身又是其它肉食动物如海星、玉螺等的食物。

瓣鳃类因身体两侧有瓣鳃而得名；肉足很发达，形似斧，故常称为斧足类 (*Pelecypoda*)；因有两个石灰质外壳，亦称双壳类 (*Bivalve*)；同时因头部不发育，与身体不分，故又称无头类 (*Acephala*)。

瓣鳃类从中寒武世到现代都有，在地史上分布时间较长，演化较慢，而且死后两壳易分开和损坏，化石保存不好，不易鉴定。瓣鳃类与其它无脊椎动物化石比起来，对地层划分对比作用不十分重要。古生代时以栉齿目和弱齿目最重要。三叠纪时，前异齿目和异齿目的很多属是分层的标准化石。侏罗纪时，湖盆中的淡水种类较多。白垩纪时有许多淡水种类。第三纪时异齿目最繁盛。现代则各目均有。

常见的瓣鳃类的地史分布如下：

1. 古栉齿目 (*Palaeotaxodonta*) —— 晚寒武世至现代，海生，能在海底移动。

梳齿蛤 (*Ctenodonta* Salter) —— 奥陶纪至志留纪。

似栗蛤 (*Nuculana* Link) —— 志留纪至现代，多在寒冷较深海水中。

布氏蛤 (*Buchiola* Barrande) —— 志留纪至泥盆纪。

2. 新栉齿目 (*Neotaxodonta*) —— 晚古生代至现代。

箱蛤 (*Arca* Linnaeus) —— 侏罗纪至现代，暖海中较多，部分居于深海中。

巨齿蛤 (*Macrodon* Lycett) —— 泥盆纪至第三纪。

Pectunculus Lamarck —— 白垩纪至现代，中新世最繁盛。

3. 弱齿目 (*Dyxodonta*) —— 奥陶纪至现代，以足丝固着生活。

燕蛤 (*Avicula* Klein) —— 志留纪至现代，热带或温带海洋中。

假髻蛤 (*Pseudomonotis* Beyrich) —— 泥盆纪至白垩纪，我国三叠系中很多。

壳菜蛤 (*Mytilus* Linnaeus) —— 三叠纪至现代。

牡蛎 (*Ostrea* Linnaeus) —— 石炭纪至现代，侏罗纪最常见，产于暖海中。

海菊蛤 (*Spondylus* Linnaeus) —— 侏罗纪至现代。

海扇 (*Pecten* Müller) —— 泥盆纪至现代。

4. 前异齿目 (*Proheterodonta*) —— 古生代至现代，多产于淡水中。

三角蛤 (*Trigonia* Bruguiere) —— 侏罗纪至现代，海生。

河蚌 (*Unio* Ketzus) —— 晚三叠世至现代，产于淡水中。

丽蚌 (*Lamprotula* Simpson) —— 侏罗纪至现代。

裂齿蛤 (*Schizodus* King) —— 泥盆纪至二叠纪。

Anodonta Cuv —— 第三纪至现代，产于淡水中。

5. 异齿目 (*Heterodonta*) —— 泥盆纪至现代，海水及淡水中都有。

美女蛤 (*Venus* Lamarck) —— 侏罗纪至现代。

兰螭 (*Corbicula Mergerle*) ——侏罗纪至现代, 产于淡水或半咸水中。

满月蛤 (*Lucina Bruguiere*) ——古生代(?)、中生代至现代, 海生。

心蛤 (*Cardium Linnaeus*) ——老第三纪至现代, 产于半咸水中。

花蛤 (*Astarte Sowerby*) ——二叠纪至现代。

女神蚬 (*Cyrena Lamarck*) ——生于淡水或微咸水中。

6. 厚齿目 (*Pachyodonta*) ——泥盆纪至现代。

马尾蛤 (*Hippurites Lamarck*) ——晚白垩世。

伟齿蛤 (*Megalodon Sowerby*) ——泥盆纪至三叠纪。

7. 贫齿目 (*Desmodonta*) ——奥陶纪至现代, 生活于泥砂中。

海笋蛤 (*Pholas Linnaeus*) ——侏罗纪至现代。

九、腹足类 (*Gastropoda*)

腹足类是软体动物门中适应沉积环境最广泛的一个纲, 它们可生活在海水、半咸水、淡水和陆地上, 数量极多, 主要营底栖爬行生活, 从寒武纪到现代都有分布。

腹足类的软体由头、足、内脏囊三部分组成, 头、足均很发育, 体外包着一层单一的外套膜。足位于头部之后的腹面, 故名腹足类。软体盘旋壳内, 壳为一个单一的螺旋形壳, 幼年时对称, 成年时不对称。壳呈不对称的螺旋形, 是由于腹足类到处爬行的生活方式造成的, 爬行使得腹足类的软体由原始的两侧对称过渡为扭转的形状, 反映到外壳, 使外壳呈螺旋形, 如现代蜗牛。

腹足类的生活方式, 除主要的原始的底栖爬行之外, 也还有其他方式如: 埋藏泥土中生活, 如鹅足螺 (*Aporehais*); 成年时固着生活, 如蛇螺 (*Vermetus*); 浮游生活, 如翼足目 (*Pteropoda*)、缠螺 (*Spiralis*)、神螺 (*Bellerophon*) 等。

腹足类的外壳形状随生活环境和生活方式的变化而发生种种变异。生活在潮汐地带的腹足类，为抵抗波浪冲击，取得最稳定的状态，螺壳发育成扁平笠状的低锥形，如Patellidae、Capulidae、Fissurellidae、Haliotidae等。热带浅水礁体附近砂泥质海底的腹足类螺壳，常包旋成半圆形或梨形，壳口平行螺旋轴，如Cypridae。生活在软泥质海底的腹足类，螺壳表面发育许多指状或翅状突起，外唇扩展，以支持壳体重量，以免完全陷入泥中，如Aporehidae、Strombidae等等。

腹足类生活环境非常广泛，可能与它善于爬行有关。但不同环境的腹足类的类型不同。海生的腹足类除去潮汐带的Littorina、Purpura和另一些广盐性种类外，大多数都是适应正常盐分的，盐分的增减会引起个体大小的变化，壳面纹饰退化，甚至死亡。淡水生活的类型大部分是从中生代才出现的，壳面纹饰大多简化或者近于光滑。

腹足类在海洋中分布的深度范围也很广，但绝大多数生活在近岸（水深0~70米）和浅海地区（水深70~200米）；200~1000米深海地带只有少数代表，个别的见于5000米深处。在不同深度内，可根据基底的岩性、地形、沉积物、沉积速度、水流动力的不同，而有不同类型。如分布于岩石海岸的香螺，分布于沙质海底的竖琴螺，分布于泥质海滩的泥螺等。

陆地生活的在平原和高山上都有。还有生活在高潮地带的，营两栖生活，如滨螺。

温度对腹足类的影响，首先是个体大小，同一种类的腹足类生活在热带的个体增大。据现代生态学资料，适于腹足类生存的温度界线为：海生类型由 $-3.8\sim 36^{\circ}\text{C}$ ，淡水类型由 $-11\sim 56^{\circ}\text{C}$ ，陆生类型由 $-10\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，由上可见，淡水类型适应温度变化范围最广。有些陆地生活在寒冷冬季可以冬眠。

腹足类死后，由于壳薄、而且壳内充满气体，因而较轻，易被波浪水流冲刷搬运，常聚集在近岸地带、按重量分选成层堆积下来。

腹足类动物分布时代长，演化缓慢。

腹足类的分类，现在不一致，有的分为下面几个纲目：

1. 原腹足亚纲 (Protogastropoda)

(1) 犬牙壳目 (Cynostraca) (早寒武世至石炭纪、二叠纪，如 *Scenella*)。

(2) 旋壳目 (Cochliostraca) (早寒武世至奥陶纪，如 *Pelagiella*)。

2. 前鳃亚纲 (Prosobranchia) (海水、淡水、半咸水中都分布)

(1) 古腹足目 (楯鳃目) (Archaeogastropoda 或 *Aspidobranchia*) 出现于早寒武世至现代。这目有：

神螺 (*Bellerophon* Montfort) (奥陶纪至二叠、三叠纪，石炭纪最多)；

翁戎螺 (*Pleurotomaria* Sowerby) (三叠纪至现代)；

蛇卷螺 (*Ophileta* Vanuxem) (奥陶纪)；

凤凰螺 (*Strombus* Linnaeus) (白垩纪至现代)；

宽脐螺 (*Euomphalus* Sowerby) (志留纪至三叠纪，石炭纪最多)。

(2) 中腹足目 (Mesogastropoda 或 *Taenioglossa*) (出现于早奥陶世至现代)。

(3) 新腹足目 (Neogastropoda 或 *Stenoglossa*) (出现于奥陶纪至现代)。

3. 后鳃亚纲 (Opisthobranchia) (只分布在海水中)

(1) 肋肠目 (*Pleurocoela*) (出现于石炭纪至现代)。

(2) 翼足目 (*Pteropoda*) (出现于白垩纪至现代)。这目有：

触角螺 (*Tentaculites* Schlotheim) (奥陶纪至泥盆纪)；

软舌螺 (*Hyolithes* Eichwald) (寒武纪至二叠纪)。

(3) 无肠目 (*Acoela*) (出现于始新世至现代)。

4. 有肺亚纲 (Pulmonata) (主要分布于淡水中)

基眼目 (Basommatophora)，出现于晚白垩世至现代，这目有：

平旋螺 (Planorbis Mueller) (侏罗纪至现代)；

蜗牛 (Helix Linnaeus) (第三纪至现代)。

十、头足类 (Cephalopoda)

头足类是软体动物门中最高级的一个纲，个体也是最大的。完全为海生的食肉性的动物，营底栖爬行或游泳生活。从寒武纪到现代都有分布，但现代种属减少。

头足类身体两侧对称，头很显著，眼睛发达。体壳呈均匀排列的隔壁，有体管和气室沉积物，壳壁和隔壁厚度薄而均匀，无软体动物常见的交错纹片结构、片状结构、珍珠层发育等特征以区别于其它软体动物。

头足类分为两个亚纲：外壳 (四鳃) 亚纲和 内壳 (二鳃) 亚纲。

(一) 外壳亚纲 (Ectocochlia)：最早出现于早寒武世，奥陶纪时第一次达到全盛，直壳鹦鹉螺发育，如直角石 (Orthoceras)、珠角石 (Actinoceras)、内角石 (Endoceras)，体壳呈细长直伸的锥形，它们依靠气室的气体膨胀而升降，不仅在海底爬行，且可靠近水底作近于平行海底的游泳，但较缓慢。中生代时第二次达到全盛。中生代末，除鹦鹉螺一属 (Nautilus) 外，外壳亚纲绝灭。现代的鹦鹉螺只有四个种，都生活在热带海岸，肉食生活，沿海底爬行或上升到海水上层靠漏斗排水产生压力而游泳，体壳卷曲。体形不同生活方式不一样，宽体管、壳形笨重的鹦鹉螺大多是底栖爬行，不善游泳，窄体管、薄壳的直角石则可能较主动的游泳。

鹦鹉螺和菊石都生活在热带和亚热带正常盐度的比较安静的海水中，在盐度变化大的潮汐带或淡化或咸化的环境都不适于他们生活。

分布深度有不同意见，有人认为鹦鹉螺生活在数百米深的海

底，有的认为60~140米的海底最多，2~3米的浅水中也能碰到。菊石分布的海域，浅海深海都有，生于深海的菊石体室呈圆形，浅海者体室呈扁形。

死后，外壳可飘浮很远。

(二) 内壳亚纲 (Endocochlia)：现代生活的代表有乌贼、章鱼、团鲷等，特点为有二鳃，壳于位于外套膜内，有的骨骼不发育或完全消失，故不易保存为化石。在正常海洋中生活，多分布在热带海洋，近岸、浅水、深水中均有分布，底栖、游泳、甚至掘土生活的方式均有。有人认为乌贼可生活在深4600米的海里，章鱼生活在近海，也可到潮间带活动。

内壳亚纲在古生代少见，中生代才开始发育，新生代更加发育。化石以箭石目 (Belemnidea) 为代表，中生代地层中大量出现，分布于浅海地区，营底栖或游泳生活。

头足类在地史上演化快，分布地理范围又广泛，因而为划分对比地层的良好标准化石。常见分类如下：

1. 外壳 (四鳃) 亚目 (Ectocochlia) (Tetrabranchiata)

(1) 鹦鹉螺目 (Nautiloidea) (寒武纪至现代)。

A. 原领亚目 (Protochoanites) (晚寒武世至奥陶纪)；

弗化角石 (*Volbothebla schmidt*) (中早寒武世)。

B. 全领亚目 (Holochoanites)；

内角石 (*Zndoceras Hall*) (中奥陶世)；

鞘角石 (*Vaginoceras Hratt*) (中奥陶世)；

房角石 (*Camlroceras Conard*) (奥陶纪)。

C. 直领亚目 (Orthochoanites)；

直角石 (*Orthoceras Teicheat et Miller*) 奥陶纪至二

叠纪；

中华角石 (*Sinoceras Shinizu et obotaemend yü*) (中

奥陶世)；

盘角石 (*Discoceras Baironde*) (奥陶纪至志留纪)；

薇角石 (*Lituite Breyn*) (奥陶纪)。

D. 弯颌亚目 (Cyrtochonniteo),

珠角石 (Actinoceras Sowerby) (志留纪);

闭角石 (Phragmoceras Sowerby) (志留纪)。

(2) 菊石目 (Ammonoidea)

A. 内体管亚目 (Intrasiphonata),

海神石 (Clymenia) (上泥盆统, 石炭系底部)。

B. 外体管亚目 (Extrasiphonata),

棱角石 (Goniatites Haan 或 Glyphioceras Hyatt) (石炭纪);

腹棱角石 (Gastrioceras Hyatt) (晚石炭世至二叠纪);

尖棱角石 (Manticoceras Hall) (晚泥盆世);

菊面石 (Ceratites Haan) (早、中三叠世);

蛇菊石 (Ophiceras Griesbach) (早三叠世);

叶菊石 (Phylloceras Suess) (侏罗纪至白垩纪);

杆菊石 (Baculites Lamarck) (晚白垩世);

船菊石 (Scaphites Parkinson) (白垩纪);

旋菊石 (Perisphinctes Waagen) (晚侏罗世);

塔菊石 (Turrilites Lamarck) (白垩纪)。

2. 内壳 (二鳃) 亚纲 (Endocochlia) (Dibranchiata)

(1) 八腕目 (Octopoda) 化石少, 初出现于晚白垩世, 章鱼为现代代表。

(2) 十腕目 (Decapoda) 化石见于侏罗纪, 现今大多数头足类属此目, 如乌贼。

(3) 箭石目 (Belemnnoidea) 最初见于三叠纪, 是中生代的重要化石, 现代只有一个属——团鲷 (Spirula)。

十一、笔石动物 (Graptolite)

笔石是一种已灭绝的海生动物, 为个体很小的群体生物。外骨骼为几丁质, 石化时由于蒸馏作用而留下碳质薄膜在岩层面上, 形似岩石上的象形文字或鹅毛笔, 故名笔石动物。

笔石属原索动物门 (Chordata) 的半索亚门笔石纲 (Graptolithina)。群体由许多微小的个体或枝状结合组成, 形态与翼鳃类近似。笔石在地史上具有地理分布广、时代演化快、化石数量多的三个特点, 因此是地层划分对比的标准化石。它开始出现于中寒武世, 极盛时期是奥陶纪和志留纪, 志留纪末开始衰退, 至早石炭世灭绝。

1. 分类和分布时代

笔石的分类和分布时代如下:

(1) 树形笔石目 (Dendroidea) (中寒武世~早石炭世)。

A. 树笔石 (Dendrograptus Hall) (中寒武世~早石炭世);

B. 无羽笔石 (Callograptus Hall) (中寒武世~早石炭世);

C. 网格笔石 (Dictyonema Hall) (晚寒武世~早石炭世);

D. 枝笔石 (Clonogratus Hall) (早奥陶世)。

(2) 管笔石目 (Tubidea) (早奥陶世~志留纪)。

(3) 腔笔石目 (Camaroidca) (早奥陶世)。

(4) 茎笔石目 (Stolonoidea) (早奥陶世)。

(5) 正笔石目 (Graptoloidea) (早奥陶世~晚志留世)。

A. 无轴亚目

(a) 劳氏笔石 (Loganograptus Hall) (早奥陶世);

(b) 均分笔石 (Dichograptus Hall) (早奥陶世);

(c) 四笔石 (Tetragraptus Hall) (早奥陶世);

(d) 叶笔石 (Phyllograptus Hall) (早奥陶世);

(e) 对笔石 (Didymograptus Hall) (早至中奥陶世);

(f) 断笔石 (Azygograptus Hall) (早至中奥陶世);

(g) 纤笔石 (Leptograptus Hall) (中至上奥陶世);

(h) 叉笔石 (Dicellograptus Hall) (奥陶纪);

(i) 双头笔石 (Dicranograptus Hall) (中至晚奥陶世)。

B. 有轴亚目

(j) 双笔石 (*Diplograptus McCoy*) (中奥陶世~早志留世);

(k) 雕笔石 (*Glyptograptus Lapworth*) (早奥陶世~早志留世);

(l) 直笔石 (*Orthograptus Lapworth*) (奥陶纪~早志留世);

(m) 栅笔石 (*Climacograptus Hall*) (奥陶纪~早志留世);

(n) 舌笔石 (*Glossograptus Emmous*) (奥陶纪);

(o) 细纲笔石 (*Retiolites Barrande*) (早至中志留世);

(p) 两形笔石 (*Dimorphyograptus Lapworth*) (早志留世);

(q) 单笔石 (*Monograptus Geinitz*) (志留纪);

(r) 螺旋笔石 (*Spirograptus Gürich*) (志留纪);

(s) 锯笔石 (*Pristiograptus Lackelet Frech*) (志留纪);

(t) 耙笔石 (*Rastrites Barrande*) (早志留世);

(u) 弓笔石 (*Cyrtograptus Carruthers*) (中志留世)。

从上可见, 树形笔石出现早, 生存时间长, 到石炭纪才绝灭, 演化缓慢, 在地层划分对比上的意义不太大。正笔石则生存于早奥陶世至志留纪晚期, 演化非常迅速, 每一种属特点清楚, 生存时间短, 分布地区广, 而且数量众多, 为确定地层时代的良好标准化石。例如早奥陶世的无轴亚目的均分笔石; 中奥陶世无轴亚目的纤笔石, 同时还产生了有轴亚目的栅笔石和双笔石; 晚奥陶世时有轴亚目趋于繁盛, 尤其双笔石众多; 中、晚奥陶世时, 有轴和无轴两亚目都繁盛, 为正笔石的极盛时期。志留纪时全为有轴亚目的笔石了, 尤其是单笔石特别繁盛, 其中志留世早期耙笔石特多, 中志留世弓笔石多, 晚志留世正笔石开始衰退, 以后即绝灭。

2. 生态

笔石是已绝灭了的动物, 其古生态环境只能根据化石的形态

功能，含化石的岩层的性质以及与笔石共生的其它生物门类的生态环境这三方面来分析判断。

笔石的生活方式因笔石种类而不同，有固着海底生活的，有漂游生活的。

固着生活的笔石的形态或为丛枝状分枝，或有加厚的茎，类根状构造和固着盘，用以固着海底或外界物体上生活。例如：腔笔石目，正胞管始部扩大成腔，用以固着海底生活；管笔石目，正胞管从底部固着盘向上直立生长，形成树状分枝；茎笔石目，茎部特别发育，但不规则，覆盖或直立生长在海底；树形笔石目的大部分直立海底生活，呈树形丛枝状，有时有横耙联结。

固着海底生活的笔石在地层中呈零星发现，地理分布上有局限性，有时集中在某一地层中，与典型的其它浅海底栖生物如三叶虫、腕足类、珊瑚以及藻类共生。

浮游或假浮游生活的笔石主要是正笔石目和少部分树形笔石（如网格笔石）。它们具有明显的胎管，末端延伸成线管或发展成中轴，用以附着在藻类或其它物体上营假浮游生活。网格笔石可能在水中倒悬生活。另一些正笔石如舌笔石具浮胞，栅笔石具浮盘，可营自由的漂浮生活。近年来用紫外光照射含笔石的志留系页岩，发现其中笔石具多种漂浮器官构造。并且发现笔石化石标本与岩层面平行，未见穿过层面的现象，这也证明是过漂浮生活的。

关于笔石生活和埋藏的环境，有不同的意见。很早就已发现含笔石的岩相有两种：

混合相：笔石与其它底栖生物群共生，系正常的浅海沉积环境。这类笔石以树形笔石为主。如我国北方下奥陶纪冶里组，长江流域的下奥陶纪分乡组页岩，东南下奥陶纪印渚埠页岩。

纯笔石相：除笔石外完全没有底栖生物，或只有少数其它浮漂生物。这类笔石以正笔石为主，少量树形笔石。含笔石的岩石多为含有机质和炭质很高的黑色页岩，分布广泛。如我国下志留纪连滩页岩和中志留纪文头山页岩。关于这种笔石页岩的古地理

环境，有不同意见。

有人认为这种含笔石的黑色页岩是淡化泻湖沉积，这里水底缺氧而硫化氢含量高，不利底栖生物生活，浮游笔石落入水底不会被其它动物破坏得以保存下来。这种说法不能解释分布广泛的这一特点。

另有人认为笔石生活于深海地区，主要根据是含笔石的页岩粒度极细，化石与层理面平行一致，分布广泛，同一地层内缺乏其它生物群。并认为深海笔石还可以向浅水陆棚区迁移，但不易迁移到靠岸的滨海区，并且也不易在这里保存下来。

另有人主张笔石页岩是浅海近岸沉积的。主要根据是在这种笔石页岩内发现大量的浅水沉积构造；围岩成分主要是陆源物质，或笔石页岩与粗粒碎屑岩成互层；发现有陆相植物碎屑，所含的大量炭质和有机质成分也与近岸的陆生沼泽植物碎屑有关；古地理研究说明笔石页岩都分布在古海洋的浅海地区，围绕古陆和岛屿成带状。有人认为适合笔石沉积的环境，主要是水体较为安静，而不在乎水的深或浅。近些年来，从沉积环境与大地构造关系结合研究中，进一步证明了笔石页岩是浅海沉积，并可分为地槽型浅海笔石页岩与地台型浅海笔石页岩。前一种笔石页岩的厚度大(数百米至数千米以上)，夹于其它碎屑岩之中，多发育于地槽上升或趋向于结束阶段，相当于海退时期。后一种笔石页岩的厚度小(数米到几百米以下)，主要是细泥物质组成，很少夹粗碎屑成分。

我国笔石相的地理分布大致可分为五个区：华北-东北区，为混合相，树笔石为主；华南-东南区与西北区，为纯笔石相，正笔石为主；华中-西南区与滇西区，混合相和纯笔石相均有。

十二、藻 类

藻类为具有叶绿素的单细胞和多细胞的低等植物。按所含色素、形态、构造与繁殖器官分为许多门，其中能造碳酸盐的藻类主要有红藻、绿藻、兰藻(兰绿藻)、球石藻、钙球、轮藻等，能

保留为化石，又总称为钙藻。另外还有硅藻。今将这些主要藻类的生活环境和地史上分布简述如下：

1. 红藻 (Rhodophyta)

红藻为多细胞藻类，含藻红素，主要为海生，是重要造礁生物，淡水中极少，营底栖固着生活。大多数分布在热带和温带，低潮线附近或潮下带。造礁红藻多生长于温暖、清澈、透光的、具坚硬底质的正常盐度的浅海中，水动力较强地带。大多数现代属分布的水深不超过23米，也有到水深200米的。分布深度与藻的种类、所处纬度、海水浊度有关，与后二者成反比。其中石藻 (Lithothamnium) 分布深度可较深，纬度也较高；一般分枝的属的分布限于浅水，包壳的属分布在稍深的海水中。钙质红藻不仅为造礁组分，更重要的是作为胶结和包壳物质。一般在珊瑚礁的向风一侧边缘和大陆棚向海的边缘形成藻脊和藻滩，红藻滩常由树枝状钙质红藻的碎片堆积而成。

现代的红藻含藻红素，呈红色。保存为化石的红藻主要属珊瑚藻科和管孔藻科。

珊瑚藻科 (Corallinaceae)，从晚侏罗世到现代，是礁的重要组分，现代珊瑚藻的分布从潮汐带到200米深处，从热带到两极均有；管孔藻科 (Solenoporaceae) 震旦纪到白垩纪；裸海松科 (Gymnocodiaceae) 二叠纪到白垩纪。

2. 绿藻 (Chlorophyta)

绿藻是单细胞或多细胞藻类，含叶绿素、胡萝卜素和叶黄素，藻体呈草绿色。化石主要属于海松科 (Codiaceae)、伞藻科 (Dasycladaceae)。

海松科分布于温暖的浅海中，寒武纪时海松科稀少，奥陶纪以后很发育。

伞藻科从寒武纪以后到现代都有发现。现代伞藻科生活在水深12米或更浅的热带、亚热带海水中，在紧靠低潮面以下最丰富，底栖固着生活，为淡化泻湖，浅水礁后和浅滩沉积物的重要组分。

现代绿藻大部分生活于淡水，仅10%在海水中生活，石蓴目(Ulvales)，管藻目(Siphonales)是海生的，海生绿藻多分布于潮间带。

3. 蓝藻 (蓝绿藻)(Cyanophyta)

蓝藻是最古老的植物，为单细胞植物，含叶绿素、藻蓝素，细胞壁常有粘质胶联成群体，故又称粘藻(Myxophyta)，向一个方向发展呈丝状体。

蓝藻按构造分为绵层藻(Spongiostromata)、孔层藻(Porostromata)等。前寒武纪时，海水普遍较浅，动物远不发育，因而绵层藻广泛发育，形成大而完整的叠层石构造。但寒武纪开始，绵层藻形成的叠层石大为减少，个体也较小，孔层藻却逐渐开始发育。蓝绿藻一般发育于潮上、潮间和浅水环境中，但在较深海水中也发现过，深水中形成的叠层石个体较小。藻豆石和藻鲕石一般多在浅水地带形成。现代蓝藻分布极广，除潮间带和浅水环境最发育外，还可分布于淡水、咸水、温泉、高山，从热带到极地都有分布。在生物礁中，蓝绿藻缠绕、粘结造礁生物和其它颗粒，对形成礁骨架起了重要的作用。如我国西南地区二叠系、三叠系的藻礁灰岩，便主要由蓝绿藻缠绕粘结红藻、藻灰结核、海绵及其它颗粒而成。

4. 球石藻科(Coccolithaceae, 亦称颗石藻科)

呈圆形到卵圆形的盘状体，宽约2~20微米，营漂浮生活，主要是海生的，虽然只生活在透光带，但可下沉到4000米的大洋深处，构成钙质软泥的一部分组分。化石开始见于侏罗纪。

5. 钙球(Calisphere)

钙球体小，直径小于500微米，具圆的中腔，缺口孔，为海生飘浮生物。化石主要发现于泥盆纪和早石炭世地层中。

6. 轮藻(Charophyta)

轮藻为最高级的多细胞藻类，细胞吸收钙质，有叶绿素。根、茎、叶已经分化，但是不具根、茎、叶的功能，假枝与假叶轮状环生于节上，故名轮藻。繁殖器官已发展成藏卵器，可分雌

雄两性，保存化石多属雌性藏卵器。轮藻营底栖固着生活。

轮藻按管状细胞的排列方式分为三个目：直立轮藻目(Syco-diales)、左旋轮藻目(Charales)和右旋轮藻目(Trochilliscales)。

轮藻化石最早见于泥盆纪的海相地层中，以直立轮藻属(Syco-dium)、右旋轮藻属(Trochilliscus)为主，石炭纪时出现左旋轮藻目。古生代晚期至中生代，只有左旋目繁盛，现在已渐衰落。

中、新生代轮藻化石常见于陆相地层中，也见于海陆过渡相地层中。现代轮藻大多数分布在淡水池塘、湖沼的水底，也见于淡化海水和盐湖中。

7. 硅藻(Diatomeae)

硅藻是单细胞藻类，藻壳含硅质，易保存为化石，个体大小在0.05~6毫米之间，有的集合成枝状、链状、伞状等群体。

硅藻化石约一万五千多种，至今尚有五千多种。硅藻分布极广，不仅海洋、湖泊、河流沼泽、泉水中有，而且土壤中，岩石表面，甚至冰雪上都有硅藻生存。但是，不同沉积环境有不同的属种组合，因此它是划分沉积相的重要依据之一。

硅藻分两纲：

(1) 辐射硅藻纲(Centratae)：藻体呈圆筒形、圆盘形、球形、三角形等，纹饰辐射对称，无缝和极，不能运动，多在海水呈漂浮生活，也有少数在淡水中生活，从侏罗纪至现代都有分布。

(2) 羽纹硅藻纲(Pennatae)：藻体一般呈扁长的针状、楔形、矩形、纺锤形等，纹饰二侧对称成羽状平行排列，有的具缝和极，多可自由运动，多数在淡水中营底栖生活，但也有少数在海水中生活。分布于白垩纪到现代。

硅藻虽然对沉积环境的盐度有良好的反映，但是同一纲，甚至同一属中都有不同盐度水体的硅藻，因此用硅藻化石推断古沉积环境的含盐度时，需要作详细的鉴定至属种才行，如图2-12。

硅藻的分布对温度也有良好反映，它表现为狭温性植物，最

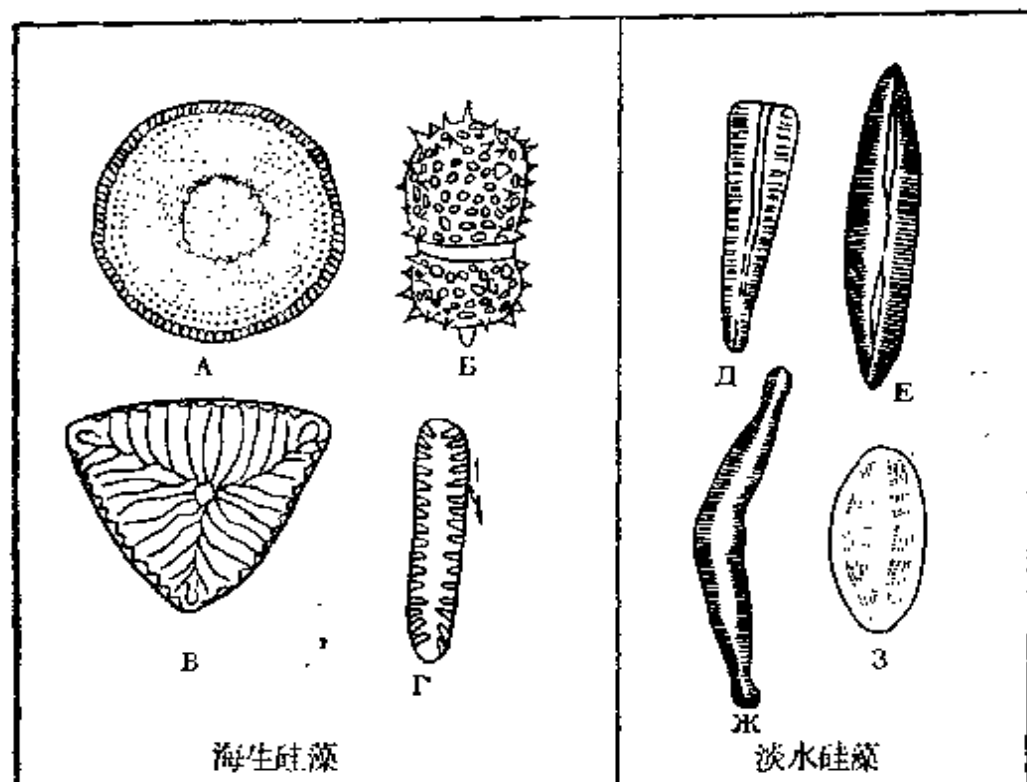


图 2-12 海相与淡水硅藻实例〔3〕

A—Hyalodiscus; Б—Stephanophyxis; В—Triceratium; Г—Rhabdonema; Д—Meridion; Е—Neidium; Ж—Ceratoneis; З—Tetracyclus

适于寒带和温带生活，赤道热带附近分布不多。现代硅藻在寒带和极地较多，围绕两极圈有大量的硅藻淤泥沉积，这可能与光照有关，太强的光照不宜于硅藻生长。

硅藻在海洋中分布的深度常在60~200米间。

水中富含硅质和钙质时有利于硅藻生长。

硅藻繁殖快，死后硅壳大量堆积成硅藻土。藻壳内富含油粒的原生质，是生油的一种原料。世界上许多白垩纪和第三纪油田地层中都发现硅藻化石，因此，在油田地层对比和沉积相划分中有重要意义。

第3节 遗迹化石

(Trace fossils, Ichnofossils)

一、遗迹化石的概念

生物化石若按其保存下来的硬体有无来分，可以分为遗体化石与遗迹化石。遗体化石是生物硬体部分或其印模被保留下来了，即一般简称的化石。遗迹化石只是生物活动的痕迹被保留下来，如动物的潜穴 (burrow, 虫孔、钻孔)、爬痕 (Trails) 和足迹 (Tracks)。遗迹化石现象虽然发现较早，但是引起地质工作者注意和大力开展研究还是近些年的事。尤其通过近代沉积的研究对比，对于古代岩层中遗迹化石的沉积相的解释大有促进。这门科学被称为遗迹化石学 (Ichnology)。

遗迹化石应用于沉积相的研究上，具有下列一些优点：

1. 遗迹化石不象一般化石那样具有再搬运和再沉积的可能性，总是原地的。另外，遗迹化石也不象一般化石那样会受到成岩作用的破坏或改造。

2. 不同生物对相同的沉积环境有相似的行动反映，因此，不同的遗迹化石都各有一个狭窄的分布范围，这对划分和判断沉积相是个有利的条件。

3. 在砂岩和粉砂岩岩层中，一般化石缺乏，称之为哑层，判断沉积环境有一定困难，但是在这类岩层中，遗迹化石却很丰富，从而弥补了这个缺陷。这也正是遗迹化石的研究发展很快的主要原因。

二、遗迹化石的种类

赛拉奇 (Seilacher A, 1964) 曾根据遗迹化石的成因和形态分为五类⁽⁸⁾⁽⁹⁾

1. 停顿或休息迹 (Resting mark)

为浅水地带的遗迹化石,由游动的生物在底面上休息时形成。

2. 爬痕 (crawling trail)

为活动的底栖生物移动时在沉积物表面所形成的爬痕或潜穴。

3. 居住或掩蔽构造 (Resting or shelter structure)

为移动的或半固着生物造成的潜穴,为保护生物免遭其它食肉生物的吞食和海底水流波浪的冲刷,是一种永久性的生物沉积构造。

4. 进(寻)食构造 (Feeding structure)

半固着底栖生物等进食时形成的潜穴,从开始处向外呈放射状分布。

5. 觅(摄)食痕迹 (Grazing trail)

食泥生物移动时形成的弯曲的爬痕或潜穴,在沉积界面上或下,为深海浊流沉积环境的特征。

上述五类遗迹化石的形状和在复理石和磨拉石岩层中的分布如图3-1所示。

还可以根据遗迹化石的位置与层面的关系、几何形状、外部装饰和内部构造特征等来再进行划分。

遗迹化石可以出现在层的顶面上、底面上、或层的内部,有一些遗迹化石只限于层面上,特别是各种足迹和爬痕,它们的形状可以从小的游泳生物的停顿迹到大的恐龙的足迹,还包括爬行动物爬行时造成的连续的弯曲的爬痕。许多停顿迹和爬痕呈左右对称,这是由两侧对称的生物形成的。有些遗迹化石为附属生物所复杂化。

觅食痕迹也是一种层面特征,有不同型式,有些是呈不规则的弯曲型式;有些比较规则;有些呈螺旋型式;另有一些呈规则的对称的弯曲型式;还有的为多角形网状。通常觅食痕迹仅限于在泥质沉积物的表面,并且仅保存为粉砂岩或砂岩层底面的印模,如图3-2⁽⁸⁾和3-3所示。

有些遗迹化石从垂直层面的剖面上观察比从层面上观察清



图 3-1 遗迹化石的五种基本类型及其在复理石层和磨拉石层中的分布 (Seilacher 1955) [8]

楚。有些呈简单的筒状，另一些就比较复杂，许多呈V形管状。潜穴可以是简单的或分枝状的。潜穴充填物的结构与围岩的结构不同，有些充填物是成层的，是断续地沉积的。潜穴都要通达沉积物—水体的界面或层面。

潜穴可能大部分呈水平状，分布于层面上或层的内部，有的向下伸进很深(大于20厘米)，有的很浅。生物的潜穴活动会破坏

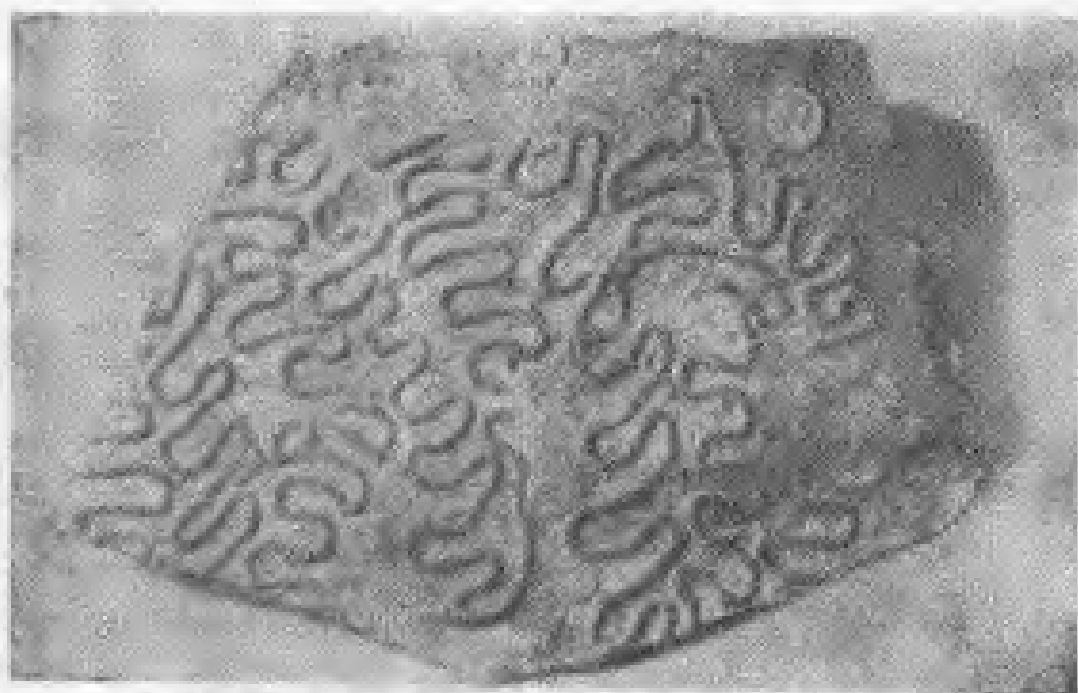


图 3-2 复理石层底面上的对称的迹（早）食爬痕 [8]



图 3-3 粉砂岩中的对称的迹（早）食爬痕 [8]

层理，尤其那些向下伸入很深的垂直或倾斜的潜穴，当潜穴作用强烈时，会将层理完全破坏，如图3-4所示。

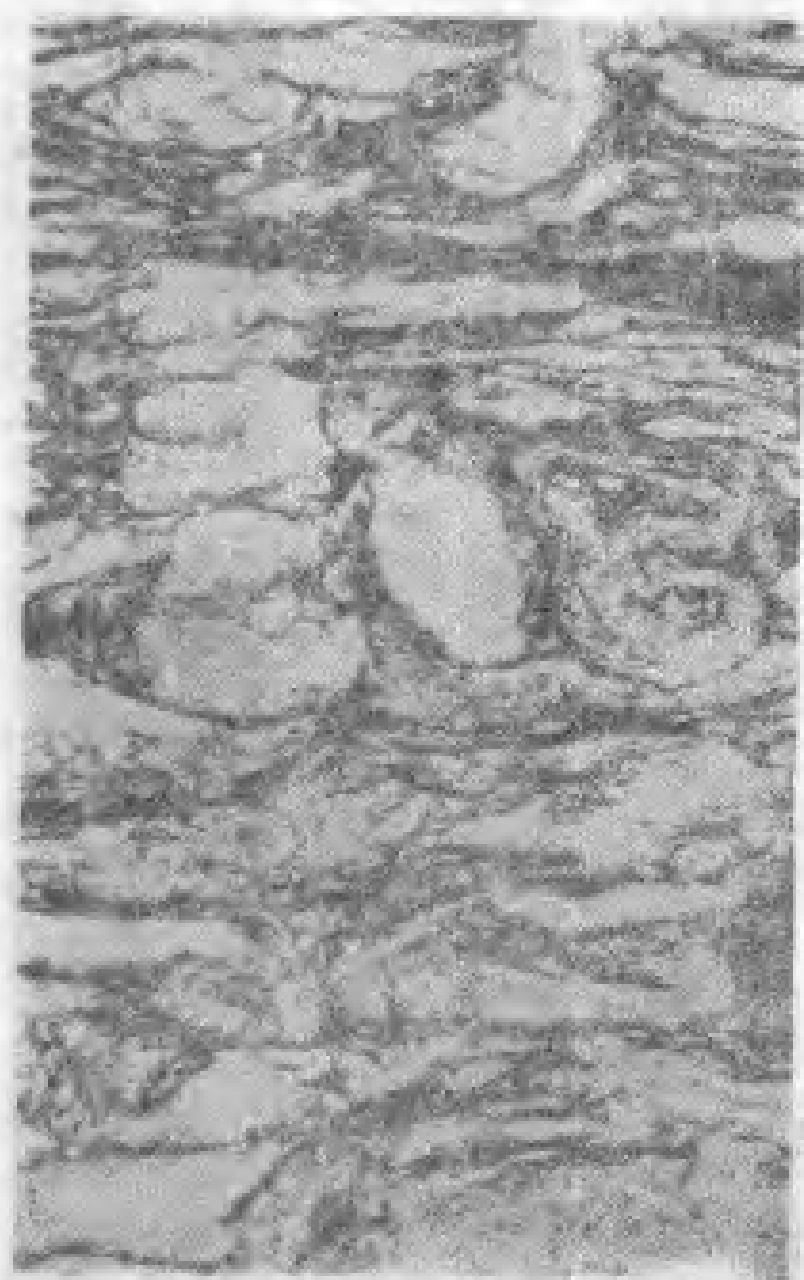


图 3-4 粉砂岩和页岩的层理为潜穴破坏〔8〕

三、不同沉积环境的遗迹化石

遗迹化石的类型反映其所在的沉积环境很灵敏，使得遗迹化石成为判断沉积环境的很好标志，尤其在砂岩和粉砂岩地层。

例如在海相地层中，遗迹化石的分布很有规律性。在海滩和

潮浦等边缘沉积环境中，由于环境变化大，波浪潮汐运动强，底栖生物为了保护自己，挖掘了垂直的很深的潜穴。潮下带的浅水环境中，沉积环境变化较小，潜穴较浅，而且呈倾斜或水平状。倾斜潜穴不仅起保护作用，还可作为食沉积物的生物的觅食坑。在很稳定的安静的深海环境中，底栖生物不再需要起保护作用的潜穴，而是需要系统地寻找食物，因此留下弯曲的、网状的或螺旋状的进食痕迹。在浅海的沉积分选作用差的地区，还可能分布一套特殊的觅食潜穴。在湖滨、海滨、河漫滩等处，常有鸟类或其它陆地动物的足迹，指示非海相或边缘环境。

赛拉奇 (Seilacher A, 1964b) 把不同微相的各种遗迹化石命名为各种遗迹相 (Ichnofacies) 如图3-5所示(6, 8, 10)。

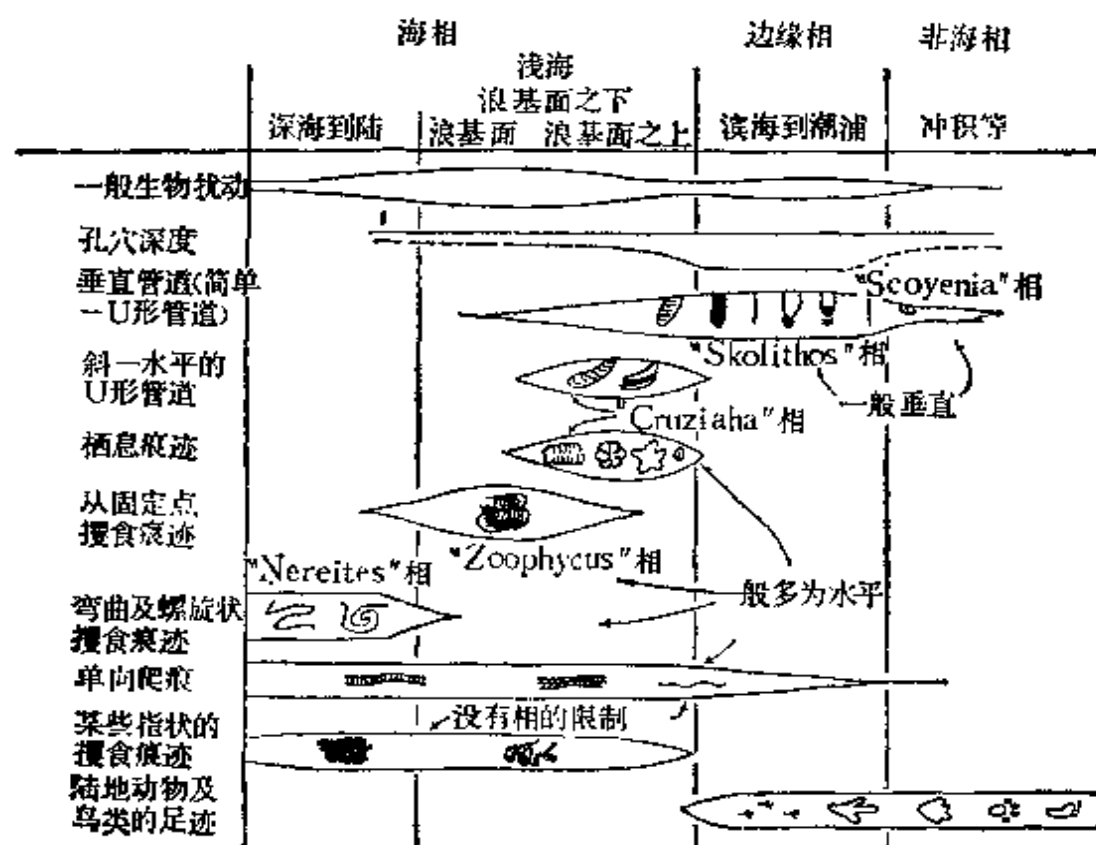


图 3-5 主要沉积环境中某些生物沉积构造 (遗迹化石) 及遗迹相的分布 [6]

例如在海滩和潮浦等极浅的滨海相环境或边缘中，波浪淘

涌，护身是首要问题，所以各种不同的移动生物及一些固着的以悬浮物为食的生物，如甲壳虫、蠕虫、蛤及腕足类的舌形贝等生物，挖掘了各种垂直的深潜穴（形状从简单的到V形的），称为（Skolithos）相。据研究，边缘环境的潜穴一般总比潮下环境的深三倍。非海相沉积物，特别是红层中所特有的潜穴，称为“Scoyenia”相。

潮下浅海环境中，生物以沉积物中的有机质碎屑为食，所以遗迹化石是一些倾斜的或水平的觅食坑的潜穴，此外，还有停顿或休息迹，为生物暂时或永久性栖息的痕迹（生物栖息在沉积物上或轻微地埋在沉积物中）。图3-5从左到右为三叶虫、海白头翁、海星和瓣鳃类等生物的栖息遗迹。以上这两类浅水陆棚的生物沉积构造总称为“Cruziana”相。

此外，在浅海较安静的环境中一些沉积物分选差的地区，还可能分布一套特殊的觅食潜穴，称为“Zoophycus”相，为沉积迅速时蠕虫动物中的环节动物造成的。“Cruziana”相和“Zoophycus”相都分布在陆棚沉积区。

在极稳定的深海环境中，生物是移动的，以沉积物为食，它们不需要起保护作用的潜穴，而是需要寻找富含食物的沉积层。因此它们系统地改进觅食方法，结果形成许多复杂的网状、弯曲状和螺旋状的觅（摄）食痕迹，称之为“Nereites”相。这种相常与复理石沉积共生。

另外，还有蜗牛、蠕虫等移动底栖生物的特殊单向爬痕和某些多指状觅（摄）食痕迹，分布很普遍，但对指示特定沉积环境的意义小。

赛拉奇（1967年）进一步把遗迹化石与海水深度联系起来，分成几个带，如图3-6所示。

霍德华（James D. Howard, 1972）〔6,10〕特别研究了滨线附近的遗迹化石，他发现美国犹他州东部和中部的“书崖”和沃萨契高原出露的晚白垩世碎屑岩滨线剖面上粉砂岩和砂岩中，遗体化石很稀少，而遗迹化石很丰富。这里岩层相变迅速，物理沉

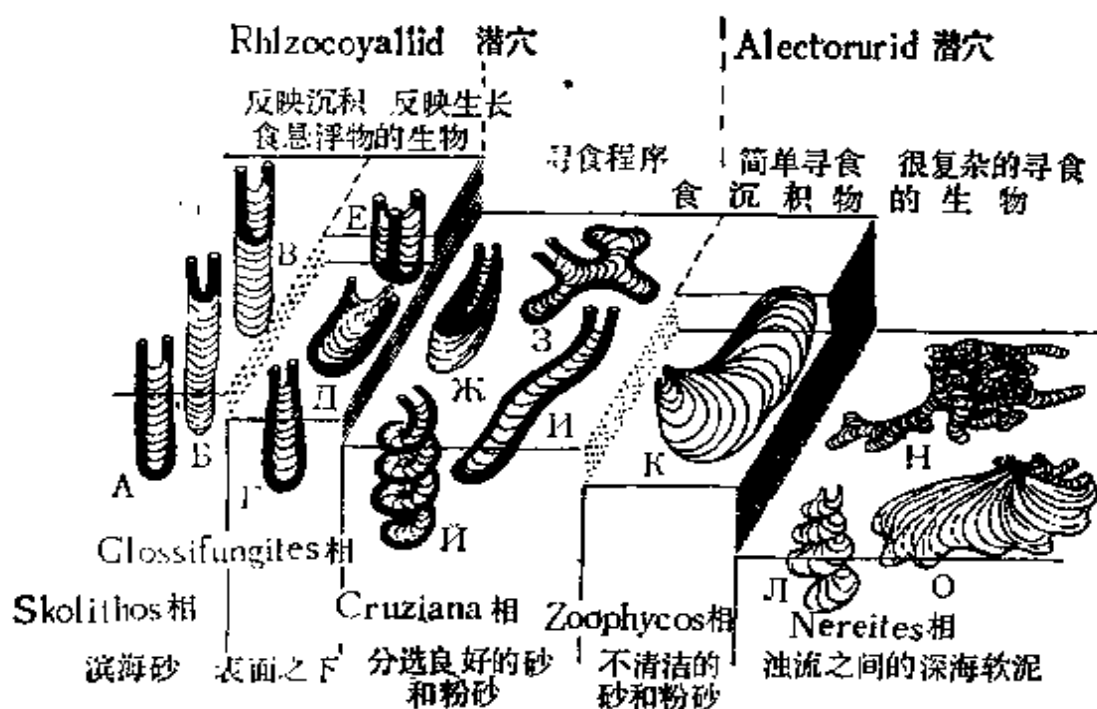


图 3-6 遗迹化石分布的海水深度分带。食悬浮物的生物分布在浅水带，寻食困难的生物分布在较深水带〔9〕

积构造和生物沉积构造变化很大，把遗迹化石与其它沉积特征结合起来，能详细划分沉积环境。他把滨线附近沉积环境，划分成几个微相，其地貌如图3-7所示，遗迹化石如图3-8至3-11所示，各微相的遗迹化石和岩性特征综合如表3-1所示。

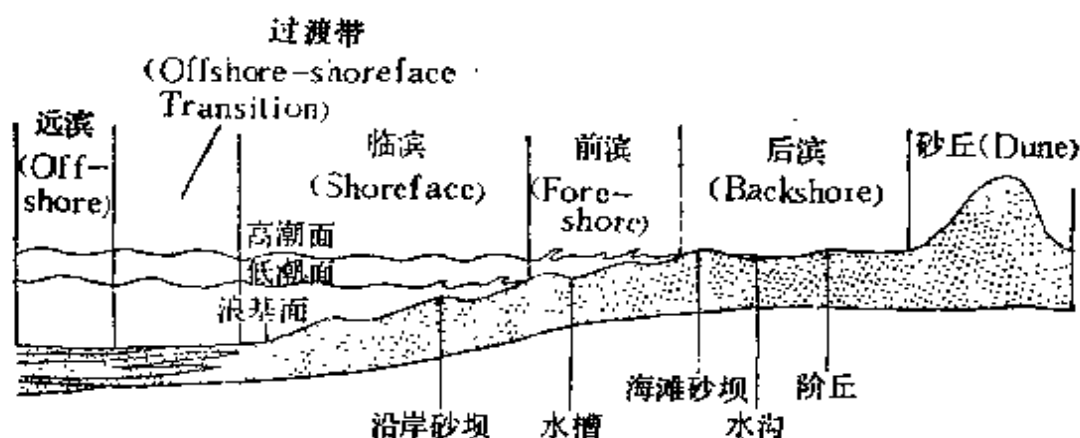


图 3-7 海滩纵剖面上各种地貌单位术语的图示〔6〕

表 3-1 滨线附近微相的遗迹化石与岩性特征 (6)

特征	微相	滨					前	
		远	远滨	下	上	临滨	临滨—前滨	滨
水体运动能量		低	高	中—高	很高	很高	很高	高、变化大
沉积物		灰色粉砂岩, 富含有机质	清洁细砂岩夹灰色粉砂岩	移的细砂—中砂岩, 富含细分散有机质碎屑	清洁, 分选好的细砂—中砂岩	清洁, 分选好的中—细砂岩(砂滩沉积)	清洁, 分选好的中—细砂岩(砂滩沉积)	
物理沉积构造		薄层页状, 波状层理	交错层理, 巨型波痕	薄层理, 偶具含交错层理的砂岩透镜体, 有侵蚀面	低倾角纹层、楔状纹层, 侵蚀面, 偶有波状、槽状纹层	具槽形交错层理的纹层	层理缓倾斜, 平行到近平行, 有螺旋状构造, 火焰状构造, 层面无侵蚀现象	
生物的食物	沉积物		过滤物	悬浮物	悬浮物	悬浮物	过滤物	
数量	多	少	少	丰富、良好	种类减少, 个体数量可能多	不丰富	极少或无, 大约是因动物物极小, 未留下重要痕迹	
种类	沉积物几乎全被钻, 生物所改造和搅动的孔还有底栖物, 排泄管和节藻状迹, 人字型迹, 枝状迹, 环状迹, 确定方向, 只有枝状迹, 方向的较多	潜穴有蛇形迹和枝状迹, 还有蜗牛行迹	岩层底部纹理清楚, 只有少量潜穴, 岩层内部, 潜穴增多, 呈明显的垂直分带。潜穴种类有: 蛇形迹, 枝状迹, 螺旋状迹, 复曲管, (从临滨开始出现) 墙状迹	潜穴有: 蛇形管, 复曲管	潜穴有: 蛇形管, 复曲管	潜穴有: 蛇形管, 复曲管		
附图	7	8	9	10	10			

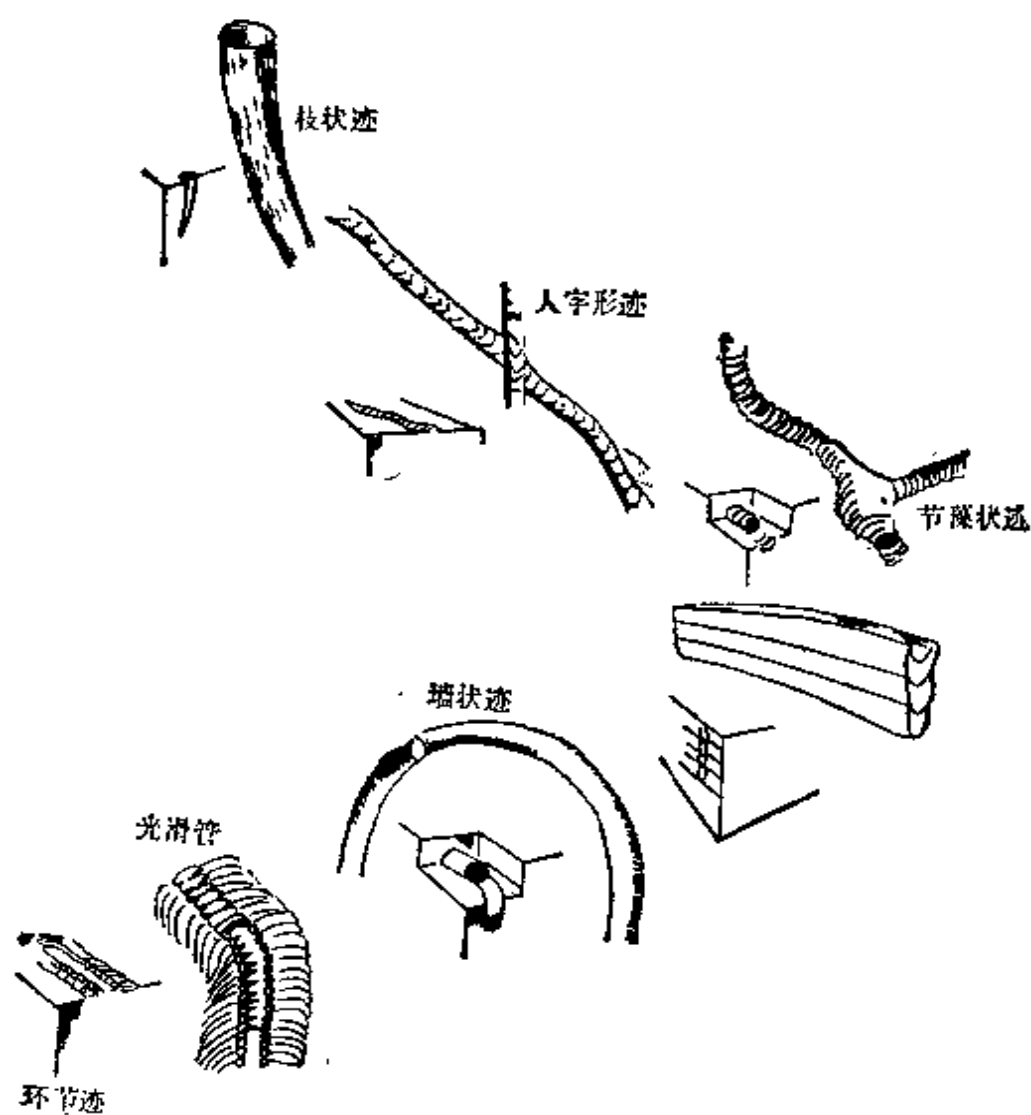


图 3-8 远滨相的遗迹化石〔6〕

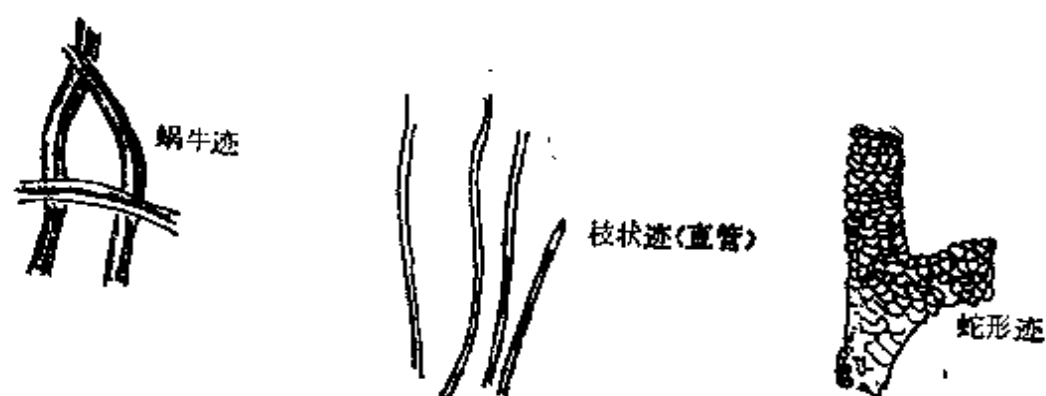


图 3-9 远滨—临滨过渡地带的遗迹化石〔6〕

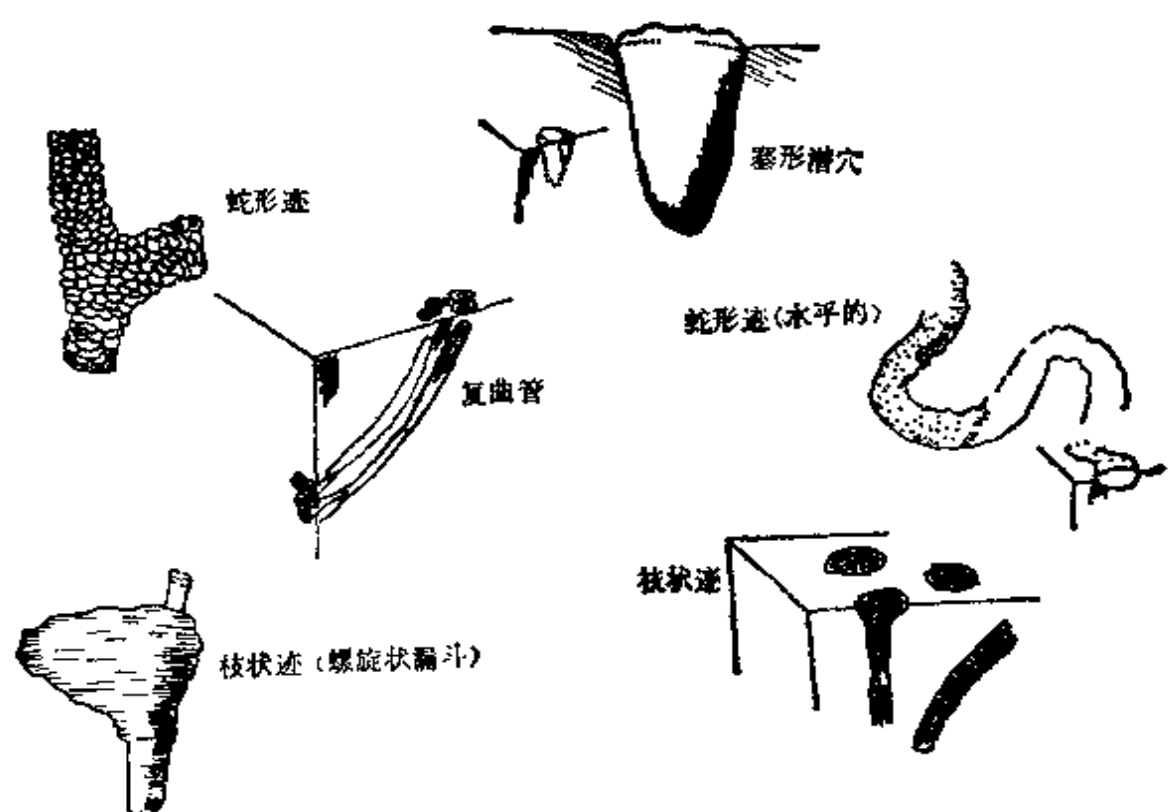


图 3-10 下临滨的遗迹化石[6]

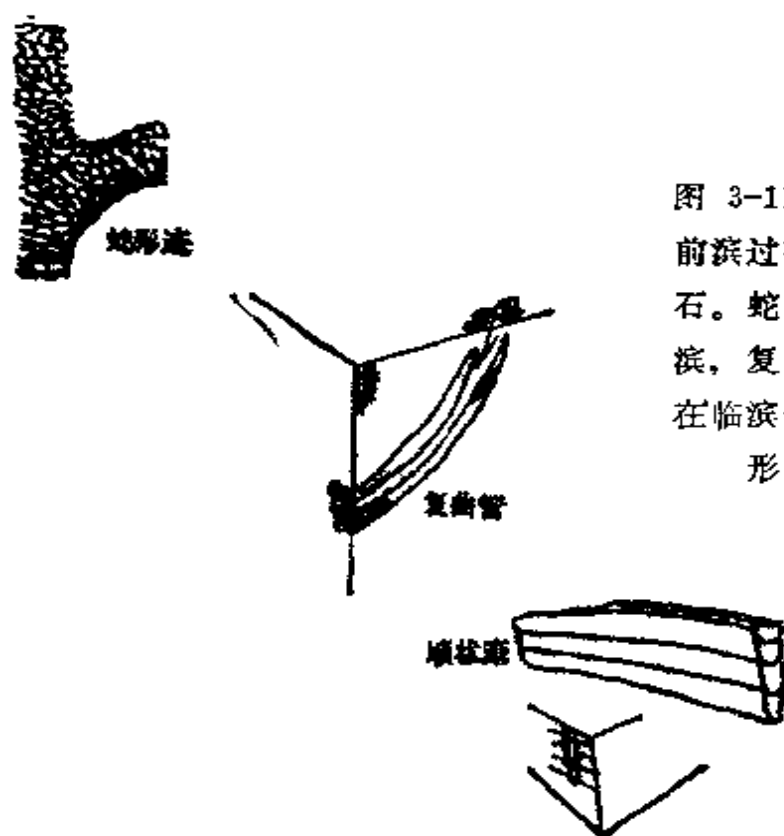


图 3-11 上临滨、临滨、前滨过渡和前滨的遗迹化石。蛇形迹发现于整个临滨，复曲管发现于上临滨。在临滨—前滨过渡中存在塞形潜穴，但不丰富[6]

四、遗迹化石在其它方面的应用

遗迹化石除了主要应用于判断和划分砂质地层的沉积相之外，还有其它用途：

1. 确定地层顶底

当地层直立或倒转时，可根据砂层底面的遗迹化石的印模来分辨岩层的顶底。

2. 判断沉积速度

在沉积速度缓慢时，沉积物表面较长时间地暴露，便容易受到生物的强烈作用，形成强烈的生物扰动带，使得层理受到严重的破坏，在这里，生物的排泄物——粪球粒也可能很丰富。相反，快速沉积会形成层理很好的砂层，缺少生物潜穴等生物活动的痕迹。但是，缺乏潜穴和保存很好的纹理也可能是由于另外的原因造成，如海底受 H_2S 污染、铁氧、使底栖生物无法生存。

3. 研究沉积盆地水体深度和构造活动的变化

从垂向剖面上沉积旋回的观察，随着沉积环境的改变，遗迹化石也作相应的变化和重复出现，因此，遗迹化石也可作为研究沉积盆地水体深度变化和构造活动的方法之一。

第4节 化石群的分异度

一、化石群分异度的概念

生物化石资料过去在地质方面应用时，多是定性的，例如对比标准化石，指相化石，化石属种组合等。近年来，数理统计的应用，尤其是利用电子计算机来计算，使古生物鉴定出的大量的资料数字化、定量化，大大提高了古生物资料应用的效果。化石群的分异度就是一个例子。上海同济大学海洋地质系曾编过专门的书籍，今简介如下。

化石群的分异度是指某生物群中分类单元如科、属、种的多样性的程度。根据生态学的研究，生物种类和个体数量会随着沉积环境如盐度、深度、温度等条件的变化而有明显的增减现象。例如现代海相生物门类（如有孔虫、棘皮动物）的种数随着盐度偏离正常海水而显著下降；海、陆均有分布的生物门类（如介形虫、软体动物）一般也是海相种类多，陆相种类少；只有与海相无关的内陆盐湖的生物门类，才是盐度愈高种类愈少；淡水生物或海水生物在过渡环境中种数和个体数量都会减少；盐度有周期性变化的地点，种属尤为贫乏。图4-1反映从淡化到超咸水的生物种类的变化，可看出，在正常海水中盐度为35‰条件下的生物种数最多，盐度超过40‰或低于35‰后，种数急剧减少。

由此可见，化石群的分异度也是判断沉积环境的工具之一。只要是个体丰富、种数较多的化石门类都可应用。它依据的只是分类单元的数量关系，不受具体属种的限制。它是古生物种类鉴定时的一项副产品，不需另外增加鉴定工作量，计算方法也较简便。

分异度计算方法分两大类，简单分异度和复合分异度。

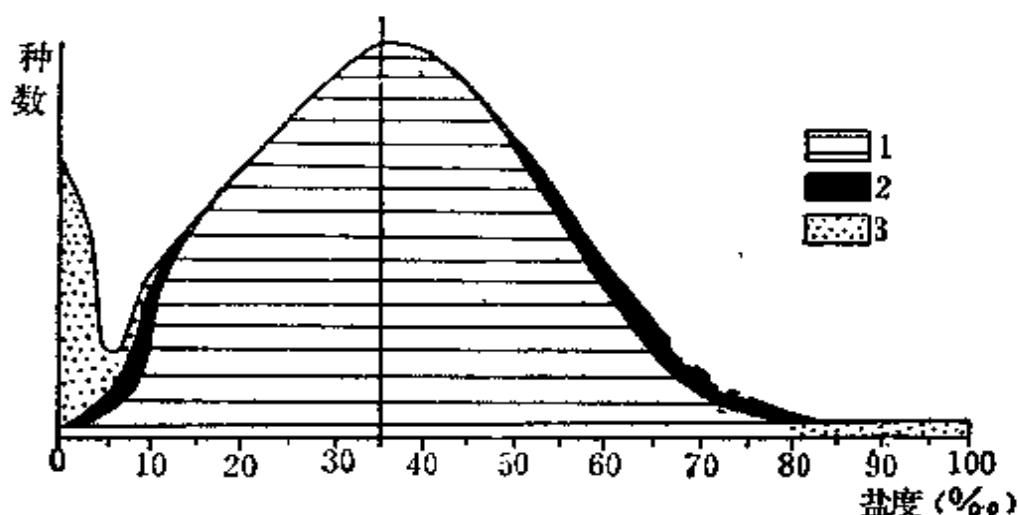


图 4-1 动物种数与盐度关系图 (据Khlebovich, 1969) [3]
1—海相动物种; 2—半咸水种及生活在河口的广盐海相种; 3—陆相动物种

二、简单分异度S

简单分异度 S 是生物化石群中分类单元的数量, 最常用的是种的数量。例如一块样品中 (或某剖面某地层中) 某类化石的种数。简单分异度对沉积环境的盐度、深度和温度有较明显的反映。

1. 对盐度的反映: 化石群的简单分异度对水盆体的盐度的反映是比较灵敏的, 如上所述。如有孔虫化石的简单分异度是古盐度的良好标志。

2. 对深度的反映: 许多海相生物群的简单分异度, 都有随水深而增加的趋势, 这种现象在陆棚区、大陆斜坡最上部最为明显, 在这里, 随着海深加大、离岸距离增大而生物种类增多。例如浮游有孔虫或底栖有孔虫都有随水深与离岸距离的增大而种类变多的现象。但是在较深海区的生物群的简单分异度, 情况比较复杂。过去认为深海的底栖动物较少, 但从现在改进取样方法后得到的样品看, 情况不一定如此, 分异度仍然较高, 但有相互矛盾的资料, 也不见得是随着深度而加大。例如有些资料说明有孔虫的简单分异度到大陆斜坡以后, 往往略有下降, 然后要到大洋

深处（水深超过二千米）才再度上升以致达到最高值。总之，许多门类化石的简单分异度可以作为浅海陆棚区古深度的标志，但当用于大陆斜坡以外的深海水域时，需要慎重。

近岸浅水区，深度对于生物分异度的控制常常和盐度结合在一起，海岸附近水浅，也正是淡水注入区。

内陆淡水盆地中，光线充分的浅水区，许多生物的种数有向离岸方向增多的趋势；但更深的水区，种数便行减少。

从地层剖面的垂向分析，化石的简单分异度曲线作有规律地重复变化的现象，这是因为海盆深度的变化是由于海侵海退的影响，而且是区域性的，因此地层垂向上化石简单分异度的变化反映了海水的进退，在区域上有一定的稳定性，故可以作为研究区域构造运动、划分对比地层的依据之一。

3. 对温度和纬度的反映：生物群种类与温度的关系极密切，热带生物多寒带生物少。因此，化石群的简单分异度随当时地球纬度的增加而降低，从赤道向两极显示出明显的纬度梯度，应用这个现象，可以推测古赤道和两极的分布。

海水温度还受海流影响，这点在化石群简单分异度上有所显示。此外，在地质发展史上，大陆飘移，大陆布局的变化，在化石群分异度上也有显示。

化石群的简单分异度可应用于不同的范围，例如各地质时期全世界的化石分异度反映了全球性的气候变化和海陆分布；单个沉积盆地内不同地层的分异度，反映了整个盆地遭受海侵海退而使盆地水体深度、盐度发生演变的历史；某个剖面上各个样品中某一门类化石群的分异度，则比较细致地反映了剖面所在地沉积环境的具体变化。对于前面两类世界性或全沉积盆地性的大范围的古地理分析，应用简单分异度是有效的。但后一类通过逐个样品来分析某地某层段的古地理具体情况时，只用简单分异度就显得不够了。这主要是因为简单分异度受样品大小的影响太大，即样品量大，得到的化石个体多，种类多，反之则少，尤其是罕见种，样品量小时往往碰不到。另外，种数与个体数量之间不是完

全一致的，有许多在种类上相等的生物群，在各种之间的个体数分配上相差很大，代表了不同的沉积环境。例如我国东海北部大陆架残留砂和南黄海中部一个表层样品，两个样品的生物种数都是22，即简单分异度相等，个体数目也几乎相同，但在前一个样品中两个种的个体数就占了全样品个体总数的绝大多数，是个十分单调的生物群，代表滨岸的动荡环境；后一样品中各种的个体数分配比较均匀，代表正常浅海环境。由此看出，在这种情况下，简单分异度不能显示两者的区别，反映不出真情况，因此要采用复合分异度的方法。

三、复合分异度

复合分异度既反映分类单元的数量，又考虑各分类单元的个体数（或次一级分类单元数）分配情况。复合分异度的计算方式很多，常用的效果较好的有信息函数和均衡度。

1. 信息函数 $H(S)$

信息函数 $H(S)$ 是反映生物群的种数和各种间个数比例的种的分异度，其计算步骤为：

(1) 先将一个样品中的总个体数 (N) 与第 i 种的个体数 (n_i) 相除，求得在全群中所占比例 P_i ， $P_i = n_i/N$

(2) 查出 P_i 的自然对数 $\ln P_i$ ，

(3) 上述两项值相乘 $P_i \cdot \ln P_i$ ，

(4) 将所有各种的 $P_i \cdot \ln P_i$ 值相加，取其负值，即得 $H(S)$ 。

参看表4-1。

将上述步骤简化为公式。即：

$$H(S) = - \sum_{i=1}^S P_i \cdot \ln P_i$$

同理，可求属的信息函数 $H(G)$ 或其它分类单元的信息函数。计算时可查表4-3的 $P_i \cdot \ln P_i$ 检索表，或用电子计算机计算，更为简便。

$H(S)$ 值愈大，分异程度愈高。

表 4-1 两个化石群的种数相等, 分异度不同的例子

化石群	种号	个体数	占全群个体比值 P_i	个体比值的自然对数 $\ln P_i$	个体比值与其自然对数的乘积 $P_i \ln P_i$	信息函数 $H(S)$	均衡度 E	辛普森指数 D	费希尔指数 α	种数 S
甲群	1	270	0.90	-0.105	-0.095					
	2	12	0.04	-3.219	-0.129					
	3	9	0.03	-3.506	-0.105					
	4	6	0.02	-3.912	-0.078					
	5	3	0.01	-4.605	-0.046					
		共300			$\Sigma P_i \ln P_i = -0.45$	0.45	0.31	1.23	0.86	5
乙群	1	60	0.20	-1.600	-0.320					
	2	60	0.20	-1.600	-0.320					
	3	60	0.20	-1.600	-0.320					
	4	60	0.20	-1.600	-0.320					
	5	60	0.20	-1.600	-0.320					
		共300			$\Sigma P_i \ln P_i = -1.60$	1.60	1	4.22	0.86	5

$H(S)$ 能有效地反映沉积盆地水体的深度和盐度的差别, 应用最多的是有孔虫, 有孔虫的 $H(S)$ 与水深之间的关系比简单分异度 S 值稳定得多, 而且在生物属种组合无明显差别时, $H(S)$ 也能反映出水深及盐度等沉积条件的变化。

信息函数能同时全面地反映种数和各种个体分配的均匀程度, 既不过分夸大优势种的作用, 又不受罕见种的过大影响, 并且受样品大小的影响小, 若与均衡度结合使用, 可以更为详细地反映生物群内个体分布情况。

2. 均衡度 E

均衡度 E 是表示各种间个体数量分布的关系, 其计算公式为:

$$E = \frac{e^{H(S)}}{S}$$

式中 $e^{H(S)}$ —— $H(S)$ 的以 e 为底的指数;

e ——自然对数的底, 约等于 2.187;

S ——样品中生物的种数。

表 4-2 两个化石群种数悬殊, 分异度 $H(S)$ 相同的例子

群	种 号	个 体 数	个体比值 P_i	$P_i \ln P_i$	信息函数 $H(S)$	种 数 S	均衡度 E
甲 群	1	100	0.20	-0.322	1.61	5	1
	2	100	0.20	-0.322			
	3	100	0.20	-0.322			
	4	100	0.20	-0.322			
	5	100	0.20	-0.322			
乙 群	1	250	0.500	-0.347	1.61	20	0.25
	2	140	0.280	-0.356			
	3	15	0.030	-0.105			
	4	15	0.030	-0.105			
	5	13	0.026	-0.095			
	6	10	0.020	-0.078			
	7	10	0.020	-0.078			
	8	10	0.020	-0.078			
	9	5	0.010	-0.046			
	10	5	0.010	-0.046			
	11	5	0.010	-0.046			
	12	4	0.008	-0.039			
	13	3	0.006	-0.031			
	14	3	0.006	-0.031			
	15	3	0.006	-0.031			
	16	3	0.006	-0.031			
	17	2	0.004	-0.022			
	18	2	0.004	-0.022			
	19	1	0.002	-0.012			
	20	1	0.002	-0.012			

当生物群内各种的个体数相等时, $S = e^{H(S)}$, 这时均衡度 $E = 1$, 这是 E 的最大值, 各种的个体数分配愈不均衡, E 值愈小。

用均衡度 E 可以检查信息函数 $H(S)$ 值高是由于简单分异度 S 高 (即种数多) 呢还是由于生物的均衡度高 (各种的个体数分配均匀度高), 更进一步反映沉积环境变化的详细情况, 而且在计算上, $H(S)$ 与 E 值可以同时得出, 不增加很多工作量, 故两个

表 4-3 $P_i \cdot \ln(P_i)$ 检索表(注)

%	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.00		0.0009	0.0017	0.0024	0.0031	0.0038	0.0045	0.0051	0.0057	0.0063
0.10	0.0069	0.0074	0.0080	0.0086	0.0091	0.0097	0.0103	0.0108	0.0113	0.0119
0.20	0.0124	0.0129	0.0134	0.0139	0.0144	0.0149	0.0154	0.0159	0.0164	0.0169
0.30	0.0174	0.0179	0.0183	0.0188	0.0193	0.0197	0.0202	0.0207	0.0211	0.0216
0.40	0.0220	0.0225	0.0229	0.0234	0.0238	0.0243	0.0247	0.0251	0.0256	0.0260
0.50	0.0264	0.0269	0.0273	0.0277	0.0281	0.0286	0.0290	0.0294	0.0298	0.0302
0.60	0.0306	0.0311	0.0315	0.0319	0.0323	0.0327	0.0331	0.0335	0.0339	0.0343
0.70	0.0347	0.0351	0.0355	0.0359	0.0363	0.0366	0.0370	0.0374	0.0378	0.0382
0.80	0.0386	0.0390	0.0393	0.0397	0.0401	0.0405	0.0409	0.0412	0.0416	0.0420
0.90	0.0423	0.0427	0.0431	0.0435	0.0438	0.0442	0.0446	0.0449	0.0453	0.0456
1.00	0.0460	0.0464	0.0467	0.0471	0.0474	0.0478	0.0481	0.0485	0.0489	0.0492
1.10	0.0496	0.0499	0.0503	0.0506	0.0510	0.0513	0.0516	0.0520	0.0523	0.0527
1.20	0.0530	0.0534	0.0537	0.0540	0.0544	0.0547	0.0551	0.0554	0.0557	0.0561
1.30	0.0564	0.0567	0.0571	0.0574	0.0577	0.0581	0.0584	0.0587	0.0591	0.0594
1.40	0.0597	0.0600	0.0604	0.0607	0.0610	0.0613	0.0617	0.0620	0.0623	0.0626
1.50	0.0629	0.0633	0.0636	0.0639	0.0642	0.0645	0.0649	0.0652	0.0655	0.0658
1.60	0.0661	0.0664	0.0667	0.0671	0.0674	0.0677	0.0680	0.0683	0.0686	0.0689
1.70	0.0692	0.0695	0.0698	0.0701	0.0704	0.0707	0.0711	0.0714	0.0717	0.0720
1.80	0.0723	0.0726	0.0729	0.0732	0.0735	0.0738	0.0741	0.0744	0.0747	0.0750
1.90	0.0753	0.0755	0.0758	0.0761	0.0764	0.0767	0.0770	0.0773	0.0776	0.0779
2.00	0.0782	0.0785	0.0788	0.0791	0.0794	0.0796	0.0799	0.0802	0.0805	0.0808
2.10	0.0811	0.0814	0.0816	0.0819	0.0822	0.0825	0.0828	0.0831	0.0834	0.0836
2.20	0.0839	0.0842	0.0845	0.0848	0.0850	0.0853	0.0856	0.0859	0.0862	0.0864
2.30	0.0867	0.0870	0.0873	0.0875	0.0878	0.0881	0.0884	0.0886	0.0889	0.0892
2.40	0.0895	0.0897	0.0900	0.0903	0.0906	0.0908	0.0911	0.0914	0.0916	0.0919
2.50	0.0922	0.0924	0.0927	0.0930	0.0932	0.0935	0.0938	0.0940	0.0943	0.0946
2.60	0.0948	0.0951	0.0954	0.0956	0.0959	0.0962	0.0964	0.0967	0.0969	0.0972
2.70	0.0975	0.0977	0.0980	0.0983	0.0985	0.0988	0.0990	0.0993	0.0995	0.0998
2.80	0.1001	0.1003	0.1006	0.1008	0.1011	0.1013	0.1016	0.1019	0.1021	0.1024
2.90	0.1026	0.1029	0.1031	0.1034	0.1036	0.1039	0.1041	0.1044	0.1046	0.1049

续表

%	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
3.00	0.1051	0.1054	0.1056	0.1059	0.1061	0.1064	0.1066	0.1069	0.1071	0.1074
3.10	0.1076	0.1079	0.1081	0.1084	0.1086	0.1089	0.1091	0.1094	0.1096	0.1099
3.20	0.1101	0.1103	0.1106	0.1108	0.1111	0.1113	0.1116	0.1118	0.1120	0.1123
3.30	0.1125	0.1128	0.1130	0.1132	0.1135	0.1137	0.1140	0.1142	0.1144	0.1147
3.40	0.1149	0.1152	0.1154	0.1156	0.1159	0.1161	0.1163	0.1166	0.1168	0.1170
3.50	0.1173	0.1175	0.1178	0.1180	0.1182	0.1185	0.1187	0.1189	0.1192	0.1194
3.60	0.1196	0.1199	0.1201	0.1203	0.1205	0.1208	0.1210	0.1212	0.1215	0.1217
3.70	0.1219	0.1222	0.1224	0.1226	0.1228	0.1231	0.1233	0.1235	0.1238	0.1240
3.80	0.1242	0.1244	0.1247	0.1249	0.1251	0.1253	0.1256	0.1258	0.1260	0.1262
3.90	0.1265	0.1267	0.1269	0.1271	0.1274	0.1276	0.1278	0.1280	0.1283	0.1285
4.00	0.1287	0.1289	0.1291	0.1294	0.1296	0.1298	0.1300	0.1303	0.1305	0.1307
4.10	0.1309	0.1311	0.1313	0.1316	0.1318	0.1320	0.1322	0.1324	0.1327	0.1329
4.20	0.1331	0.1333	0.1335	0.1337	0.1340	0.1342	0.1344	0.1346	0.1348	0.1350
4.30	0.1353	0.1355	0.1357	0.1359	0.1361	0.1363	0.1365	0.1367	0.1370	0.1372
4.40	0.1374	0.1376	0.1378	0.1380	0.1382	0.1384	0.1387	0.1389	0.1391	0.1393
4.50	0.1395	0.1397	0.1399	0.1401	0.1403	0.1405	0.1408	0.1410	0.1412	0.1414
4.60	0.1416	0.1418	0.1420	0.1422	0.1424	0.1426	0.1428	0.1430	0.1432	0.1435
4.70	0.1437	0.1439	0.1441	0.1443	0.1445	0.1447	0.1449	0.1451	0.1453	0.1455
4.80	0.1457	0.1459	0.1461	0.1463	0.1465	0.1467	0.1469	0.1471	0.1473	0.1475
4.90	0.1477	0.1479	0.1481	0.1483	0.1485	0.1487	0.1489	0.1491	0.1493	0.1495
5.00	0.1497	0.1499	0.1501	0.1503	0.1505	0.1507	0.1509	0.1511	0.1513	0.1515
5.10	0.1517	0.1519	0.1521	0.1523	0.1525	0.1527	0.1529	0.1531	0.1533	0.1535
5.20	0.1537	0.1539	0.1541	0.1543	0.1545	0.1547	0.1549	0.1551	0.1552	0.1554
5.30	0.1556	0.1558	0.1560	0.1562	0.1564	0.1566	0.1568	0.1570	0.1572	0.1574
5.40	0.1576	0.1578	0.1579	0.1581	0.1583	0.1585	0.1587	0.1589	0.1591	0.1593
5.50	0.1595	0.1597	0.1599	0.1600	0.1602	0.1604	0.1606	0.1608	0.1610	0.1612
5.60	0.1614	0.1616	0.1617	0.1619	0.1621	0.1623	0.1625	0.1627	0.1629	0.1631
5.70	0.1632	0.1634	0.1636	0.1638	0.1640	0.1642	0.1644	0.1645	0.1647	0.1649
5.80	0.1651	0.1653	0.1655	0.1658	0.1658	0.1660	0.1662	0.1664	0.1666	0.1667
5.90	0.1669	0.1671	0.1673	0.1675	0.1677	0.1678	0.1680	0.1682	0.1684	0.1686

续表

%	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
6.00	0.1688	0.1689	0.1691	0.1693	0.1695	0.1697	0.1698	0.1700	0.1702	0.1704
6.10	0.1705	0.1707	0.1709	0.1711	0.1713	0.1715	0.1716	0.1718	0.1720	0.1722
6.20	0.1723	0.1725	0.1727	0.1729	0.1731	0.1732	0.1734	0.1736	0.1738	0.1739
6.30	0.1741	0.1743	0.1745	0.1746	0.1748	0.1750	0.1752	0.1754	0.1755	0.1757
6.40	0.1759	0.1761	0.1762	0.1764	0.1766	0.1768	0.1769	0.1771	0.1773	0.1774
6.50	0.1776	0.1778	0.1780	0.1781	0.1783	0.1785	0.1787	0.1788	0.1790	0.1792
6.60	0.1793	0.1795	0.1797	0.1799	0.1800	0.1802	0.1804	0.1805	0.1807	0.1809
6.70	0.1811	0.1812	0.1814	0.1816	0.1817	0.1819	0.1821	0.1822	0.1824	0.1826
6.80	0.1828	0.1829	0.1831	0.1833	0.1834	0.1836	0.1838	0.1839	0.1841	0.1843
6.90	0.1844	0.1846	0.1848	0.1849	0.1851	0.1853	0.1854	0.1856	0.1858	0.1859
7.00	0.1861	0.1863	0.1864	0.1866	0.1868	0.1869	0.1871	0.1873	0.1874	0.1876
7.10	0.1878	0.1879	0.1881	0.1882	0.1884	0.1886	0.1887	0.1889	0.1891	0.1892
7.20	0.1894	0.1896	0.1897	0.1899	0.1900	0.1902	0.1904	0.1905	0.1907	0.1909
7.30	0.1910	0.1912	0.1913	0.1915	0.1917	0.1918	0.1920	0.1921	0.1923	0.1925
7.40	0.1926	0.1928	0.1929	0.1931	0.1933	0.1934	0.1936	0.1937	0.1939	0.1941
7.50	0.1942	0.1944	0.1945	0.1947	0.1949	0.1950	0.1952	0.1953	0.1955	0.1956
7.60	0.1958	0.1960	0.1961	0.1963	0.1964	0.1966	0.1967	0.1969	0.1971	0.1972
7.70	0.1974	0.1975	0.1977	0.1978	0.1980	0.1982	0.1983	0.1985	0.1986	0.1988
7.80	0.1989	0.1991	0.1992	0.1994	0.1996	0.1997	0.1999	0.2000	0.2002	0.2003
7.90	0.2005	0.2006	0.2008	0.2009	0.2011	0.2012	0.2014	0.2016	0.2017	0.2019
8.00	0.2020	0.2022	0.2023	0.2025	0.2026	0.2028	0.2029	0.2031	0.2032	0.2034
8.10	0.2035	0.2037	0.2038	0.2040	0.2041	0.2043	0.2044	0.2046	0.2047	0.2049
8.20	0.2050	0.2052	0.2053	0.2055	0.2056	0.2058	0.2059	0.2061	0.2062	0.2064
8.30	0.2065	0.2067	0.2068	0.2070	0.2071	0.2073	0.2074	0.2076	0.2077	0.2079
8.40	0.2080	0.2082	0.2083	0.2085	0.2086	0.2087	0.2089	0.2090	0.2092	0.2093
8.50	0.2095	0.2096	0.2098	0.2099	0.2101	0.2102	0.2104	0.2105	0.2107	0.2108
8.60	0.2109	0.2111	0.2112	0.2114	0.2115	0.2117	0.2118	0.2120	0.2121	0.2122
8.70	0.2124	0.2125	0.2127	0.2128	0.2130	0.2131	0.2133	0.2134	0.2135	0.2137
8.80	0.2138	0.2140	0.2141	0.2143	0.2144	0.2145	0.2147	0.2148	0.2150	0.2151
8.90	0.2153	0.2154	0.2155	0.2157	0.2158	0.2160	0.2161	0.2162	0.2164	0.2165

续表

%	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
9.00	0.2167	0.2168	0.2169	0.2171	0.2172	0.2174	0.2175	0.2176	0.2178	0.2179
9.10	0.2181	0.2182	0.2183	0.2185	0.2186	0.2188	0.2189	0.2190	0.2192	0.2193
9.20	0.2195	0.2196	0.2197	0.2199	0.2200	0.2202	0.2203	0.2204	0.2206	0.2207
9.30	0.2208	0.2210	0.2211	0.2213	0.2214	0.2215	0.2217	0.2218	0.2219	0.2221
9.40	0.2222	0.2223	0.2225	0.2226	0.2228	0.2229	0.2230	0.2232	0.2233	0.2234
9.50	0.2236	0.2237	0.2238	0.2240	0.2241	0.2242	0.2244	0.2245	0.2246	0.2248
9.60	0.2249	0.2251	0.2252	0.2253	0.2255	0.2256	0.2257	0.2259	0.2260	0.2261
9.70	0.2263	0.2264	0.2265	0.2267	0.2268	0.2269	0.2271	0.2272	0.2273	0.2275
9.80	0.2276	0.2277	0.2278	0.2280	0.2281	0.2282	0.2284	0.2285	0.2286	0.2288
9.90	0.2289	0.2290	0.2292	0.2293	0.2294	0.2296	0.2297	0.2298	0.2299	0.2301
10.0	0.2303	0.2316	0.2328	0.2341	0.2354	0.2366	0.2379	0.2391	0.2404	0.2416
11.0	0.2428	0.2440	0.2452	0.2464	0.2476	0.2487	0.2499	0.2510	0.2522	0.2533
12.0	0.2544	0.2555	0.2567	0.2578	0.2588	0.2599	0.2610	0.2621	0.2631	0.2642
13.0	0.2652	0.2663	0.2673	0.2683	0.2693	0.2703	0.2713	0.2723	0.2733	0.2743
14.0	0.2753	0.2762	0.2772	0.2781	0.2791	0.2800	0.2809	0.2818	0.2828	0.2837
15.0	0.2846	0.2855	0.2863	0.2872	0.2881	0.2890	0.2898	0.2907	0.2915	0.2924
16.0	0.2932	0.2940	0.2949	0.2957	0.2965	0.2973	0.2981	0.2989	0.2997	0.3005
17.0	0.3012	0.3020	0.3028	0.3035	0.3043	0.3050	0.3058	0.3065	0.3072	0.3079
18.0	0.3087	0.3094	0.3101	0.3108	0.3115	0.3122	0.3129	0.3135	0.3142	0.3149
19.0	0.3155	0.3162	0.3168	0.3175	0.3181	0.3188	0.3194	0.3200	0.3207	0.3213
20.0	0.3219	0.3225	0.3231	0.3237	0.3243	0.3249	0.3255	0.3260	0.3266	0.3272
21.0	0.3277	0.3283	0.3288	0.3294	0.3299	0.3305	0.3310	0.3315	0.3321	0.3326
22.0	0.3331	0.3336	0.3341	0.3346	0.3351	0.3356	0.3361	0.3366	0.3371	0.3376
23.0	0.3380	0.3385	0.3390	0.3394	0.3399	0.3403	0.3408	0.3412	0.3416	0.3421
24.0	0.3425	0.3429	0.3434	0.3438	0.3442	0.3446	0.3450	0.3454	0.3458	0.3462
25.0	0.3466	0.3470	0.3473	0.3477	0.3481	0.3485	0.3488	0.3492	0.3495	0.3499
26.0	0.3502	0.3506	0.3509	0.3513	0.3516	0.3519	0.3523	0.3526	0.3529	0.3532
27.0	0.3535	0.3538	0.3541	0.3544	0.3547	0.3550	0.3553	0.3556	0.3559	0.3562
28.0	0.3564	0.3567	0.3570	0.3572	0.3575	0.3578	0.3580	0.3583	0.3585	0.3587
29.0	0.3590	0.3592	0.3595	0.3597	0.3599	0.3601	0.3603	0.3606	0.3608	0.3610

续表

%	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
30.0	0.3612	0.3614	0.3616	0.3618	0.3620	0.3622	0.3624	0.3625	0.3627	0.3629
31.0	0.3631	0.3632	0.3634	0.3636	0.3637	0.3639	0.3640	0.3642	0.3643	0.3645
32.0	0.3646	0.3648	0.3649	0.3650	0.3652	0.3653	0.3654	0.3655	0.3656	0.3657
33.0	0.3659	0.3660	0.3661	0.3662	0.3663	0.3664	0.3665	0.3665	0.3666	0.3667
34.0	0.3668	0.3669	0.3669	0.3670	0.3671	0.3672	0.3672	0.3673	0.3673	0.3674
35.0	0.3674	0.3675	0.3675	0.3676	0.3676	0.3677	0.3677	0.3677	0.3677	0.3678
36.0	0.3678	0.3678	0.3678	0.3678	0.3679	0.3679	0.3679	0.3679	0.3679	0.3679
37.0	0.3679	0.3679	0.3679	0.3678	0.3678	0.3678	0.3678	0.3678	0.3677	0.3677
38.0	0.3677	0.3676	0.3676	0.3676	0.3675	0.3675	0.3674	0.3674	0.3673	0.3673
39.0	0.3672	0.3672	0.3671	0.3670	0.3670	0.3669	0.3668	0.3668	0.3667	0.3666
40.0	0.3665	0.3664	0.3663	0.3663	0.3662	0.3661	0.3660	0.3659	0.3658	0.3657
41.0	0.3655	0.3654	0.3653	0.3652	0.3651	0.3650	0.3649	0.3647	0.3646	0.3645
42.0	0.3644	0.3642	0.3641	0.3639	0.3638	0.3637	0.3635	0.3634	0.3632	0.3631
43.0	0.3629	0.3627	0.3626	0.3624	0.3623	0.3621	0.3619	0.3618	0.3616	0.3614
44.0	0.3612	0.3611	0.3609	0.3607	0.3605	0.3603	0.3601	0.3599	0.3597	0.3595
45.0	0.3593	0.3591	0.3589	0.3587	0.3585	0.3583	0.3581	0.3579	0.3576	0.3574
46.0	0.3572	0.3570	0.3568	0.3565	0.3563	0.3561	0.3558	0.3556	0.3553	0.3551
47.0	0.3549	0.3546	0.3544	0.3541	0.3539	0.3536	0.3534	0.3531	0.3528	0.3526
48.0	0.3523	0.3520	0.3518	0.3515	0.3512	0.3509	0.3507	0.3504	0.3501	0.3498
49.0	0.3495	0.3493	0.3490	0.3487	0.3484	0.3481	0.3478	0.3475	0.3472	0.3469
50.0	0.3466	0.3463	0.3460	0.3456	0.3453	0.3450	0.3447	0.3444	0.3441	0.3437
51.0	0.3434	0.3431	0.3427	0.3424	0.3421	0.3417	0.3414	0.3411	0.3407	0.3404
52.0	0.3400	0.3397	0.3393	0.3390	0.3386	0.3383	0.3379	0.3376	0.3372	0.3368
53.0	0.3365	0.3361	0.3358	0.3354	0.3350	0.3346	0.3343	0.3339	0.3335	0.3331
54.0	0.3327	0.3324	0.3320	0.3316	0.3312	0.3308	0.3304	0.3300	0.3296	0.3292
55.0	0.3288	0.3284	0.3280	0.3276	0.3272	0.3268	0.3264	0.3260	0.3255	0.3251
56.0	0.3247	0.3243	0.3239	0.3234	0.3230	0.3226	0.3221	0.3217	0.3213	0.3208
57.0	0.3204	0.3200	0.3195	0.3191	0.3186	0.3182	0.3177	0.3173	0.3168	0.3164
58.0	0.3159	0.3155	0.3150	0.3146	0.3141	0.3136	0.3132	0.3127	0.3122	0.3118
59.0	0.3113	0.3108	0.3104	0.3099	0.3094	0.3089	0.3084	0.3080	0.3075	0.3070

续表

$\%$	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
60.0	0.3065	0.3060	0.3055	0.3050	0.3045	0.3040	0.3035	0.3030	0.3025	0.3020
61.0	0.3015	0.3010	0.3005	0.3000	0.2995	0.2990	0.2985	0.2979	0.2974	0.2969
62.0	0.2964	0.2959	0.2953	0.2948	0.2943	0.2938	0.2932	0.2927	0.2922	0.2916
63.0	0.2911	0.2905	0.2900	0.2895	0.2889	0.2884	0.2878	0.2873	0.2867	0.2862
64.0	0.2856	0.2851	0.2845	0.2840	0.2834	0.2828	0.2823	0.2817	0.2811	0.2806
65.0	0.2800	0.2794	0.2789	0.2783	0.2777	0.2771	0.2766	0.2760	0.2754	0.2748
66.0	0.2742	0.2737	0.2731	0.2725	0.2719	0.2713	0.2707	0.2701	0.2695	0.2689
67.0	0.2683	0.2677	0.2671	0.2665	0.2659	0.2653	0.2647	0.2641	0.2635	0.2629
68.0	0.2623	0.2616	0.2610	0.2604	0.2598	0.2592	0.2585	0.2579	0.2573	0.2567
69.0	0.2560	0.2554	0.2548	0.2541	0.2535	0.2529	0.2522	0.2516	0.2510	0.2503
70.0	0.2497	0.2490	0.2484	0.2477	0.2471	0.2464	0.2458	0.2451	0.2445	0.2438
71.0	0.2432	0.2425	0.2419	0.2412	0.2405	0.2399	0.2392	0.2385	0.2379	0.2372
72.0	0.2365	0.2359	0.2352	0.2345	0.2338	0.2331	0.2325	0.2318	0.2311	0.2304
73.0	0.2297	0.2291	0.2284	0.2277	0.2270	0.2263	0.2256	0.2249	0.2242	0.2235
74.0	0.2228	0.2221	0.2214	0.2207	0.2200	0.2193	0.2186	0.2179	0.2172	0.2165
75.0	0.2158	0.2150	0.2143	0.2136	0.2129	0.2122	0.2115	0.2107	0.2100	0.2093
76.0	0.2086	0.2078	0.2071	0.2064	0.2057	0.2049	0.2042	0.2035	0.2027	0.2020
77.0	0.2013	0.2005	0.1998	0.1990	0.1983	0.1975	0.1968	0.1960	0.1953	0.1946
78.0	0.1938	0.1930	0.1923	0.1915	0.1908	0.1900	0.1893	0.1885	0.1877	0.1870
79.0	0.1862	0.1855	0.1847	0.1839	0.1832	0.1824	0.1816	0.1808	0.1801	0.1793
80.0	0.1785	0.1777	0.1770	0.1762	0.1754	0.1746	0.1738	0.1730	0.1723	0.1715
81.0	0.1707	0.1699	0.1691	0.1683	0.1675	0.1667	0.1659	0.1651	0.1643	0.1635
82.0	0.1627	0.1619	0.1611	0.1603	0.1595	0.1587	0.1579	0.1571	0.1563	0.1555
83.0	0.1547	0.1538	0.1530	0.1522	0.1514	0.1506	0.1497	0.1489	0.1481	0.1473
84.0	0.1465	0.1456	0.1448	0.1440	0.1431	0.1423	0.1415	0.1406	0.1398	0.1390
85.0	0.1381	0.1373	0.1365	0.1356	0.1348	0.1339	0.1331	0.1322	0.1314	0.1306
86.0	0.1297	0.1289	0.1280	0.1272	0.1263	0.1254	0.1246	0.1237	0.1229	0.1220
87.0	0.1212	0.1203	0.1194	0.1186	0.1177	0.1168	0.1160	0.1151	0.1142	0.1134
88.0	0.1125	0.1116	0.1107	0.1099	0.1090	0.1081	0.1072	0.1064	0.1055	0.1046
89.0	0.1037	0.1028	0.1019	0.1011	0.1002	0.0993	0.0984	0.0975	0.0966	0.0957

续表

%	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
90.0	0.0948	0.0939	0.0930	0.0921	0.0912	0.0903	0.0894	0.0885	0.0876	0.0867
91.0	0.0858	0.0849	0.0840	0.0831	0.0822	0.0813	0.0804	0.0795	0.0785	0.0776
92.0	0.0767	0.0758	0.0749	0.0740	0.0730	0.0721	0.0712	0.0703	0.0693	0.0684
93.0	0.0675	0.0666	0.0656	0.0647	0.0638	0.0628	0.0619	0.0610	0.0600	0.0591
94.0	0.0582	0.0572	0.0563	0.0553	0.0544	0.0535	0.0525	0.0516	0.0506	0.0497
95.0	0.0487	0.0478	0.0468	0.0459	0.0449	0.0440	0.0430	0.0421	0.0411	0.0401
96.0	0.0392	0.0382	0.0373	0.0363	0.0353	0.0344	0.0334	0.0324	0.0315	0.0305
97.0	0.0295	0.0286	0.0276	0.0266	0.0257	0.0247	0.0237	0.0227	0.0218	0.0208
98.0	0.0198	0.0188	0.0178	0.0169	0.0159	0.0149	0.0139	0.0129	0.0119	0.0109
99.0	0.0099	0.0090	0.0080	0.0070	0.0060	0.0050	0.0040	0.0030	0.0020	0.0010

注: P_i 的 % 值由本表最左边一列与最上一行的值相加而得, 二值在表内相交点的数即所查 P_i 对应的 $(-P_i \cdot \ln P_i)$ 值。

分异度常结合使用。

例如: 由于信息函数 $H(S)$ 受样品中的种数 S 和各种间个体数分配的均匀度这两个因素控制, 对一定的 S 值, $H(S)$ 也有一个相应的最大值, 比如一个样品中有五个种, 每个种的个体数都相等(即含量为20%)时, $H(S)$ 值最大, $H(S) = 5 \times 0.322 = 1.6$; 同样 $S = 10$ 时, 最大的 $H(S)$ 值为2.30; $S = 20$ 时, 最大的 $H(S)$ 达2.99……等等。同时各种间个体分配的比例关系对 $H(S)$ 的影响也很大, 如表4-1所示。两个化石群的种数相同, 都是5, 个体数也一样, 为300, 但由于各种间个体分配的比例不同, $H(S)$ 便不一样。总之, 由于种类和个体分配情况这两个因素不同的组合, 构成了种种不同的 $H(S)$ 值。

反之, 同一个 $H(S)$ 值, 也可以由 S 值和个体分配比例的不同组合所造成, 如表4-2所示的两个假设样品, $H(S)$ 都是1.61, 但一个仅5种, 一个达20种, 前者种虽少, 但个体分配均匀, 达到了和后者相等的分异度。显然, 这两个样品所代表的环境不同, 这时单靠信息函数就无法区别, 而均衡度就显示出差别来,

前者的E为1, 后者的E为0.25。

因此, 均衡度E是信息函数 $H(S)$ 的很好补充。

化石群分异度同时与水体盐度、深度、温度等因素有关, 是一种多变量函数, 因此在地层中根据分异度来判断沉积环境时, 也就具有多解性, 需要对具体情况作具体分析。一般说来, 在海岸附近, 分异度往往以反映盐度变化为主, 在广海中, 底栖生物着重反映深度, 浮游生物则可能主要反映温度, 因此用化石群分异度进行古地理分析时, 应该与生物属种组合和岩性等其它资料结合起来。但是分异度使古生态分析精确化、数量化, 而且在属种组合区别不明显或属种的生态环境缺乏资料的情况下, 提供重要的重建古地理的依据, 所以化石群分异度是古地理分析中一项有效的辅助手段。

化石群分异度的高低, 既反映沉积环境的物理化学条件的差别, 也反映沉积环境的稳定性。一个沉积盆地内, 若沉积环境变化多样, 则不同环境中生活不同的生物, 从整个沉积盆地来说, 生物种类多, 分异度高; 反之, 盆地地形单调, 生物种类也单调, 分异度低。在地质时期中较长期稳定存在的沉积盆地(大而深的沉积盆地), 能有较多种类的生物发育, 分异度高; 反之, 迅速变动的沉积盆地, 分异度小。同理, 滨海地区或海陆过渡区, 海水的盐度、温度、水动力、地球化学等条件变化较快, 即沉积环境不稳定, 分异度也低。

四川省石油研究院在研究四川盆地二叠系阳新统地层的沉积相时, 曾计算了有孔虫的复合分异度信息函数 $H(S)$, 收到一定效果。图4-2所示乐山沙湾剖面, 有孔虫的 $H(S)$ 与岩性和生物组合的对比关系很清楚, 茅口组 P_1^2 时 $H(S)$ 低, 藻类中二叠钙藻及绿藻丰富, 有孔虫是绕旋虫—始毛盘虫组合, 推测水深10米左右或更浅; P_1^3 时 $H(S)$ 明显增高, 二叠钙藻及绿藻极少, 以翁格达藻为主(但量不太多), 有孔虫是大型绕旋虫—占串珠虫亚科组合, 推测水深是20~30米, 说明海水加深。另外, 他们还作了不同时期的 $H(S)$ 分区图(因点数不够, 故未划等值线图), 如图

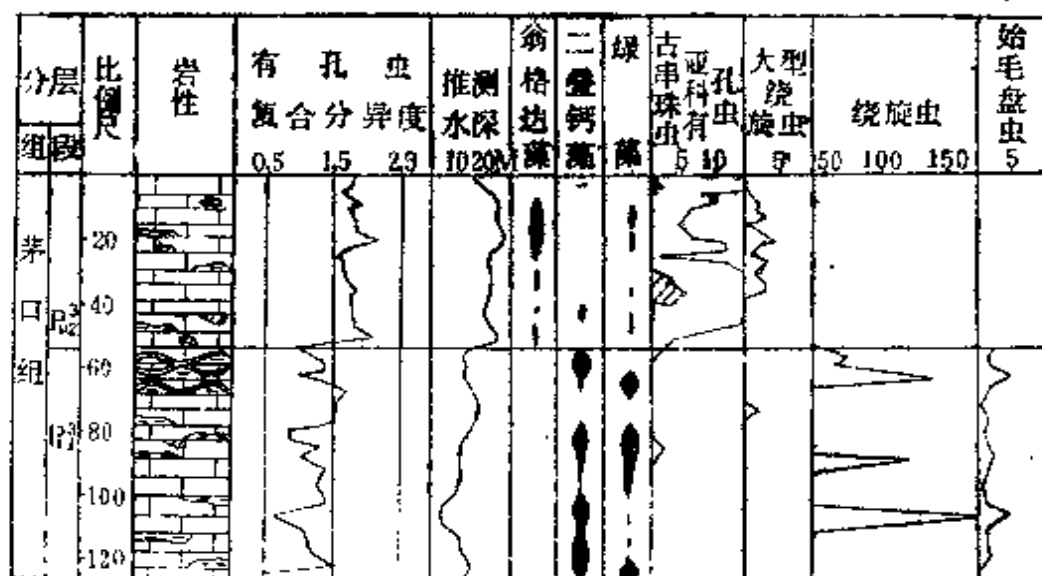


图 4-2 四川盆地乐山沙湾剖面二叠系新统茅口组 P_1^3 和 P_2^3 下部的有孔虫复合分异度 $H(S)$ 与岩性和生物组合 (据四川省石油管理局研究院试验室付渝等同志提供的资料, 4-3图同此)

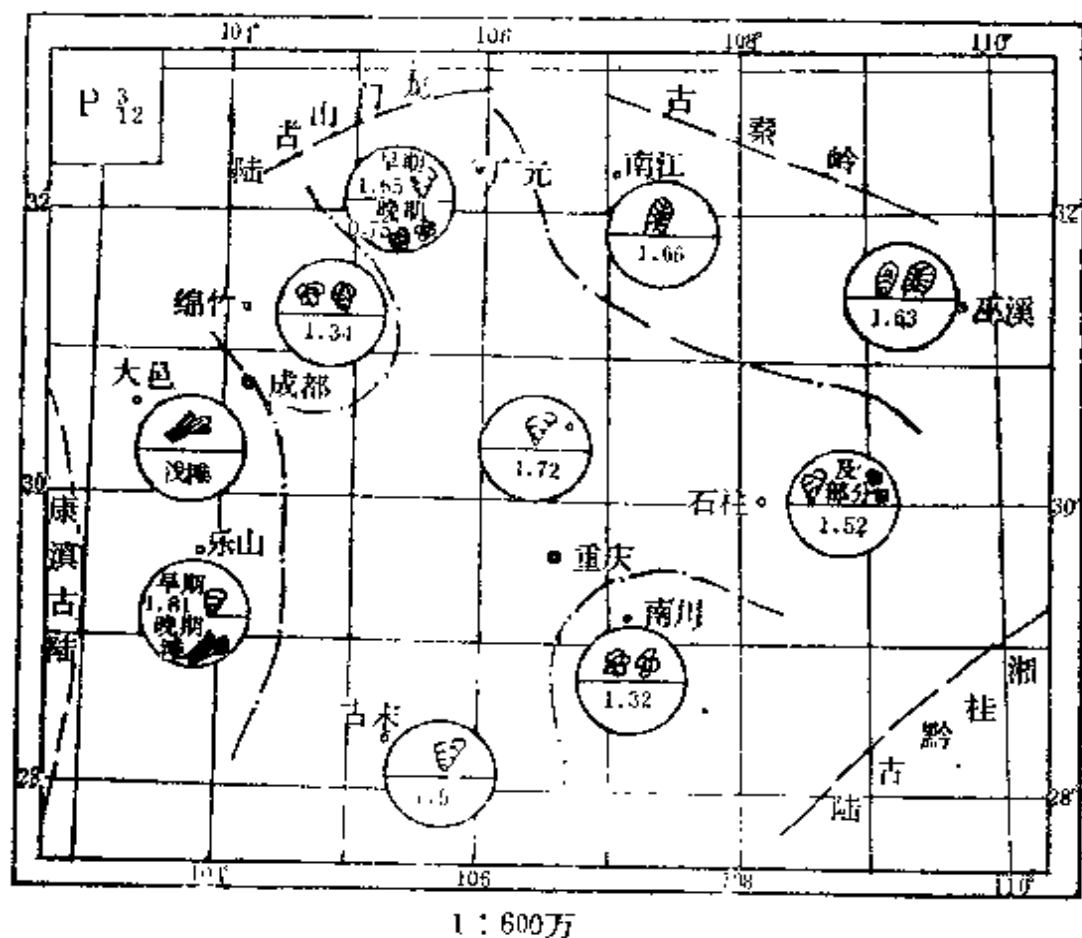


图 例

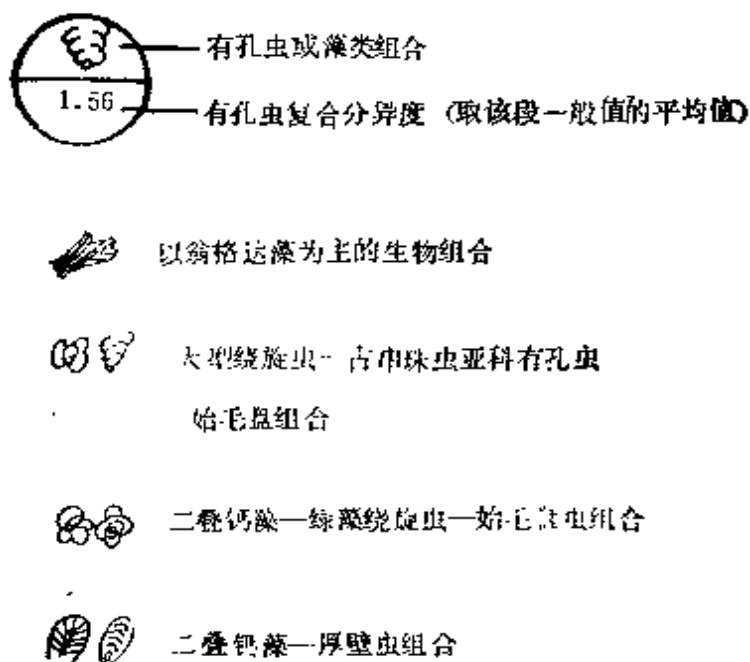


图 4-3 四川盆地二叠系—新统茅口组 P_1 的有孔虫复合分异度 $H(S)$ 的分区图

4-3所示为 P_1 的分区图。他们认为有孔虫的复合分异度对研究沉积相是有用处的，它可以用具体数字来反映海水的深度，虽然它所表示的只是相对的深度，绝对的水深还得从化石组合等其它因素来推算（这里是参考绿藻的生活深度来推测的）。但是有了定量数据，就可以在垂向上或平面上对相邻地层或相邻地区进行比较了，这比定性的描述进了一步。

参 考 文 献

1. 北京地质学院古生物教研室杨式溥、李凤麟、张席禔、殷鸿福:《古生态学》, 中国工业出版社, 1963 年。
2. 戴永定等:《生物化石钙质结构的分类和演化》地质科学, 1977 年, 3 和 4 期。
3. 上海同济大学海洋地质教研室编:《海陆相地层辨认标志》, 科学出版社, 1980 年。
4. 南京大学地质系古生物地史学教研室编著:《古生物学》, 人民教育出版社, 1961 年。
5. 地质部地质研究所地层古生物研究室编:《古生物化石通俗手册》, 第 1 集, 无脊椎动物部分之一, 地质出版社, 1959 年。
6. J. Keith Rigby and Wm. Kenneth Hamblin, «Recognition of Ancient Sedimentary Environments» Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication No. 16, 1972, p. 276—286, p. 215—226.
7. D. G. Bebout and Charles Pendexter, «Secondary Carbonate porosity as related to Early Tertiary depositional Facies, Zelten Field, Libya», AAPG, 1974, Vol. 59, NO. 4, p. 665—693.
8. F. J. Pettijohn, P. E. Potter, R. Siever, «Sand and Sandstone», 1972.《砂和砂岩》, 李汉瑜译, 科学出版社, 1977 年。
9. F. J. Pettijohn: «Sedimentary Rocks», third edition, 1975 年.《沉积岩》, 李汉瑜等译, 石油工业出版社, 1981 年。
10. A. Seilacher: «Bathymetry of Trace fossils», marine Geology, 1976, Vol. 5, p. 413—428.

