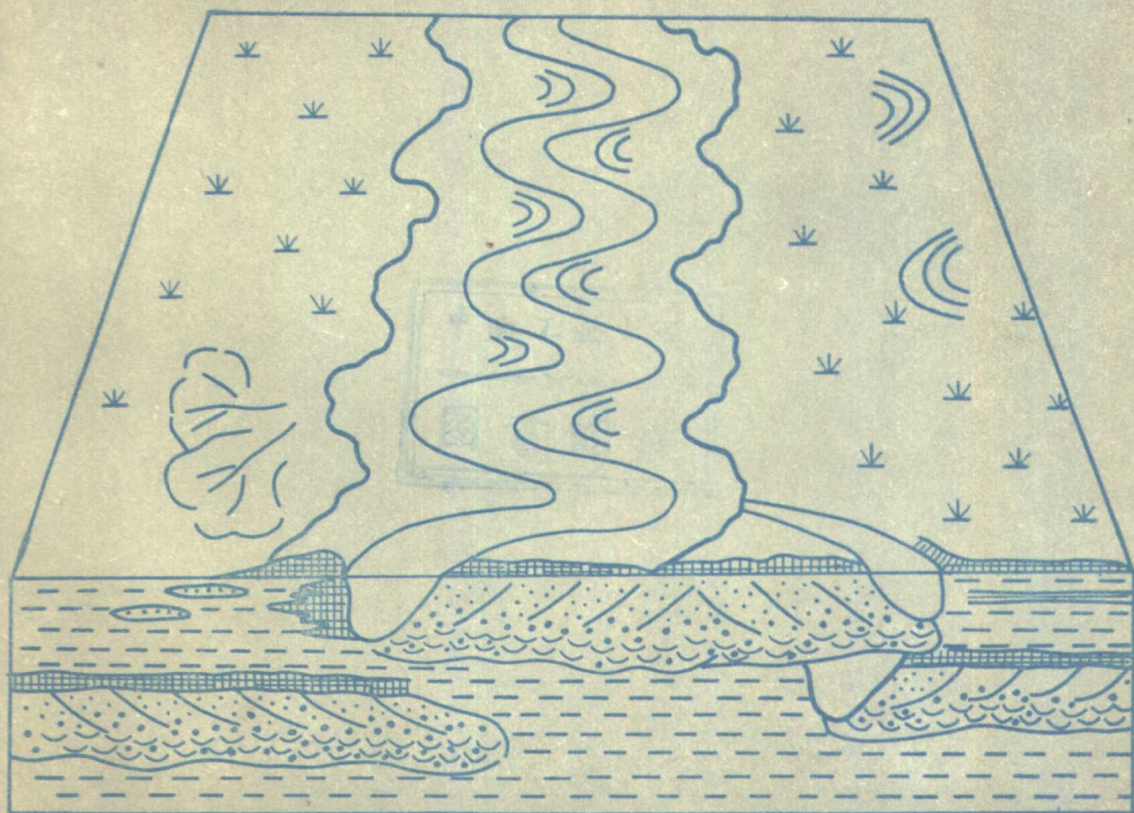


003554

高等学校教学参考书

# 碎屑岩沉积相 和沉积环境

作者 李恩生 编



地质出版社

高等学校教学参考书

# 碎屑岩沉积相和沉积环境

孙永传 李蕙生 编

地质出版社

## 内 容 简 介

本书主要介绍陆源碎屑岩沉积环境及其识别标志。内容共分四篇，十章。第一篇阐述了沉积相、沉积环境的概念和分类，以及判别沉积环境的主要标志，如生物、岩矿、沉积构造、粒度分析、沉积序列和沙体形态等标志。第二—四篇主要介绍与油气关系较密切的碎屑岩沉积环境及其沉积特征和实例，具体包括冲积扇、河流、湖泊、三角洲、河口湾、滨海、浅海以及半深海—深海和重力流环境。书中侧重论述了沉积构造、沉积序列及其在解释沉积环境中的应用。全书约40万字，插图230余幅，照片60张，并附有五次有关沉积环境研究方法的实习。

本书适用于高等学校石油地质专业和其他地质专业教学使用，也可供广大石油地质工作者和其他有关地质人员参考。

高等学校教学参考书

### 碎屑岩沉积相和沉积环境

孙永传 李蕙生 编

\*

责任编辑：张荣昌 卢鹤兴

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

开本：787×1092<sup>1</sup>/16 印张：17<sup>1</sup>/<sub>8</sub> 插页：2个 字数：420,000

1986年12月北京第一版·1986年12月北京第一次印刷

印数：1~4,270册 定价：2.95元

统一书号：13038·教261

# 前 言

陆源碎屑沉积相和沉积环境是沉积学的一个重要组成部分。随着我国沉积学和沉积岩石学研究工作的开展，特别是石油、煤炭以及其他沉积矿产勘探、开发工作的迅速发展，不断地对教学工作提出了新的要求。为了适应这一形势的发展，我们于1982年起在历年的教学、短训班和科研的基础上，组织编写了《碎屑岩沉积相和沉积环境》一书作为院内试用教材。本书就是在试用教材的基础上，广泛征求了各方面的意见，进一步补充和修改编写而成。

近二十年来，沉积学和沉积环境分析的研究工作发展很快，新资料、新发现和新理论不断出现。本书在一些最基本的方面反映了这些进展，并侧重于介绍有关碎屑岩沉积环境领域内的基本知识、基本理论和基本方法。在其内容和分量上基本是按我院石油地质专业教学要求编写的，在修编过程中对部分章节做了适当的扩大和引伸，内容阐述得也较为详细，其目的是使讲课教师和学生有选择的余地。在内容方面概括起来主要包括两大部分：

(1) 沉积环境的识别标志；

(2) 与油气关系较为密切的几种碎屑岩沉积环境及其沉积特征和实例。

其中特别论述了沉积构造和沉积序列这一基本而有效的标志以及它们在环境解释和判别中的应用。为了加强实践环节，使学生了解和初步掌握一些碎屑岩沉积环境研究的基本方法，在某些重要章节中还安排了相应的实习和作图。为了节约篇幅，对有些内容采用小五宋字排版。本书适用于石油地质专业，也可供其他地质类专业参考和使用，并可供广大的石油地质工作者和其他有关地质人员参考。

本书由武汉地质学院油区教研室孙永传和李蕙生合编，在教材编写和出版过程中蔡升同志也参加了部分工作。作者与我院王德发、郑俊茂、马正和大港油田张服民等同志多年合作的科研成果，为本书提供了许多资料。我院古生物教研室杨式溥教授及中国科学院地质研究所陈昌明和陈景山同志为本书提供了照片。在院内教材试用过程中，何镜宇教授、陈发景教授以及其他一些同志，对本书提出了许多有益的建议。本书稿经成都地质学院何开华副教授和夏文杰副教授全面审阅，并提出了宝贵的修改意见。全书插图由本院绘图室清绘；书内引用的部分照片由本院北京研究生部的王树元同志负责洗印。院教材科诸松和及耿小云同志对本书的编写和出版也给予了大力支持。对此，我们一并表示深切感谢！

由于编者水平有限，加以时间较仓促，不足和错误之处在所难免，衷心希望读者批评指正。

编者

1985年7月于北京

# 目 录

## 前言

## 第一篇 总 论

### 第一章 绪论

第一节 沉积环境和沉积相的概念.....	1
第二节 沉积环境的分类.....	2
第三节 沉积环境研究的进展和意义.....	3

### 第二章 判别沉积环境的主要标志

第一节 概述.....	5
第二节 生物标志.....	6
第三节 岩矿标志.....	13
第四节 物理标志(一)——原生沉积构造及其组合.....	26
第五节 物理标志(二)——粒度分布.....	65
第六节 古水流的判别标志及其环境意义.....	82
第七节 沉积序列标志.....	89
第八节 沙体几何形态和分布.....	94

## 第二篇 大陆环境组

### √第三章 冲积扇环境

第一节 概述.....	97
第二节 冲积扇的沉积作用及沉积物类型.....	98
第三节 冲积扇的几何形态特征.....	101
第四节 冲积扇的沉积环境及沉积层序特征.....	102
第五节 冲积扇沉积的实例及其鉴别标志.....	104

### √第四章 河流环境

第一节 概述.....	109
第二节 河道型式.....	109
第三节 河流的水动力特征及沉积物的搬运和堆积.....	111
第四节 河流环境及其沉积特征.....	113
第五节 冲积环境的沉积组合及其沉积模式.....	127
第六节 现代河流沉积的实例.....	130
第七节 古代河流沉积及其鉴别标志.....	133

<b>第五章 湖泊环境</b>	138
第一节 概述	138
第二节 湖泊的一般特征	138
第三节 湖泊环境的划分及其沉积特征	139
第四节 盐湖及其特征	147
第五节 湖泊沉积与油气的关系	150

### 第三篇 海陆过渡环境组

<b>第六章 三角洲环境</b>	
第一节 概述	151
第二节 三角洲形成的流体动力学	152
第三节 三角洲的形成和发育	153
第四节 三角洲的类型	155
第五节 河控三角洲的沉积环境及其沉积特征	159
第六节 三角洲的沉积序列特征	163
第七节 关于浅水三角洲问题	168
第八节 现代三角洲沉积实例	170
第九节 古代三角洲沉积及其识别标志	173
第十节 三角洲沉积与油气的关系	177
<b>第七章 河口湾环境</b>	
第一节 概述	180
第二节 河口湾的水动力及沉积物搬运特征	180
第三节 河口湾的沉积特征及沉积序列	181

### 第四篇 海洋环境组

<b>第八章 滨海(海岸)环境</b>	
第一节 概述	186
第二节 无障碍海岸环境	187
第三节 障壁海岸环境	194
第四节 海岸环境的沉积序列	198
第五节 潮坪环境	207
第六节 海岸环境沉积实例及其判别标志	211
<b>第九章 陆源碎屑浅海环境</b>	
第一节 概述	215
第二节 过渡带沉积	215
第三节 浅海(陆棚)沉积	216
<b>第十章 半深海——深海环境及重力流沉积</b>	

第一节	半深海和深海环境的地貌特征 .....	223
第二节	半深海和深海环境的沉积特征 .....	224
第三节	重力流沉积 .....	226
第四节	深海沉积与矿产资源 .....	248

**附录——实习指导书**

前 言

实习一	原生沉积构造的识别（一） .....	249
实习二	原生沉积构造的识别（二） .....	251
实习三	编制地方性沉积序列剖面图（模式）（以河流沉积为例） .....	252
实习四	编制纯砂岩等原图 .....	257
实习五	古代沉积环境的判别（以浊流沉积为例） .....	259

**主要参考文献**

# 第一篇 总 论

## 第一章 绪 论

碎屑岩沉积相和沉积环境是沉积学的一个重要组成部分。研究碎屑岩沉积环境不仅具有重要的地质理论意义，而且与油气和其他沉积矿床的寻找和勘探甚至开发有着极为密切的联系。它是一门重要的地质基础课和专业基础课。

人们在观察和研究沉积剖面的过程中，必然会提出这样一个问题，即所研究的沉积岩、岩层和沉积矿床是在什么条件下或环境中形成的？它们是通过那些沉积作用沉积而成？本课程的目的和任务主要就是阐明碎屑岩或砂体形成的自然地理条件、沉积作用及其所表现的沉积特征。

### 第一节 沉积环境和沉积相的概念

目前关于沉积环境和沉积相的概念，在国内、外的地质学家中存在着不同的理解和观点，而且争论很多。通常人们把沉积环境主要理解为一个发生沉积作用的地貌单位，如河流环境、三角洲环境、海岸环境……等。在这样一个地貌单位内具有一系列独特的物理作用、生物作用和化学作用，从而产生了特征性的沉积。这一概念强调了自然地理景观或地貌特征。因此，对古代沉积物沉积环境的研究实质上就是识别古地貌单位。

有些地貌单位的特征是相当复杂的。在这种地貌单位中，其物理、生物和化学条件各地都不相同，因而沉积物的类型变化也很大。所以，在一个大的沉积环境内可进一步细分为若干亚环境。如河流环境中的河道、天然堤、牛轭湖和泛滥盆地等亚环境。

沉积相（或相）一般理解为一个沉积单位中所有原生沉积特征的总和，其中包括岩石、古生物和岩石地球化学等特征。它是在某一个特定环境中沉积作用的产物，因此具有该环境中特有的沉积特征。可见，这一概念强调了沉积物形成条件的物质表现，如河流环境中经常见到大型交错层理砂岩相、爬升波痕纹理粉砂岩相、含植物根的块状泥岩相……等。

但是，目前对于沉积相或相仍然有着很不同的理解。一种观点认为沉积相是沉积环境的同义语，相即沉积环境。如热姆丘日尼科夫（Жемчужников, 1957）定义为“相乃是一定岩层（层）的生成和沉积环境”。另一种观点认为“相是一定岩层生成时的古地理环境及其物质表现的总和”。这个概念是一个综合性的概念，它包括了沉积物形成条件及其



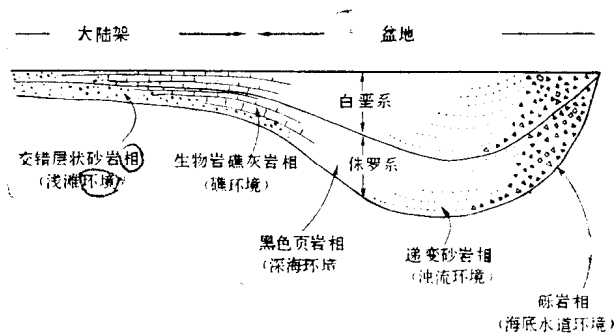


图 1 沉积相与沉积环境之间的关系  
(据塞利, 1982)

沉积特征这两方面的内容, 如河流砂岩相、浅海碳酸盐相……等等; 但习惯上仍简称为河流相、浅海相、湖泊相……等。国内在50—60年代较普遍地使用这一概念, 现在仍为不少地质学家和地质工作者所沿用。

目前似乎有越来越多的学者都趋向于把沉积环境和沉积相这两个概念区分开来。认为沉积环境主要是指沉积物形成的自然地理条件, 而沉积相则是环境的产物, 即沉积环境的物质表现。沉积相与沉积环境之间的关系如图 1 所示。本书基本上采纳了这种观点, 但在使用描述上不够严格, 有时仍沿用了一些过去经常使用的习惯性用语 如海相化石、海相碳酸盐岩、陆相沉积……等。

另外, 由于现代沉积研究的大规模开展, 古代沉积环境研究资料的大量积累, 以及室内模拟实验的深入, 人们开始对沉积环境及其沉积作用有了更为全面的了解。有可能对某种沉积环境进行全面的概括, 因而在沉积学中又提出了沉积模式的概念。到目前为止可以说在整个地层学和沉积学领域中, 最活跃的领域之一仍然是为各种沉积环境建立沉积模式。如曲流河沉积模式、三角洲沉积模式、海底扇沉积模式等。所谓沉积模式就是以现代环境和古代沉积以及室内模拟实验的综合研究为依据, 对某种沉积环境的沉积特征, 发展演化及其空间组合形式进行的全面概括。建立和掌握不同环境的沉积模式, 不仅有助于对各种古代沉积进行成因解释, 而且在油气和其他沉积矿床的勘探和开发中也有很大的实用价值。

## 第二节 沉积环境的分类

根据上述沉积环境的概念, 自然地理条件或地貌特征应当作为沉积环境划分的主要依据。首先应按大的一级地貌单位划分为各种沉积环境; 然后在每个环境内, 再根据次一级的地貌特征细分为亚环境。与此相对应, 或者再进一步划分时, 则可以根据岩性、沉积构造和古生物等特征分为相和亚相。因此, 本书使用的沉积环境分类的基本级序为环境组、环境和亚环境。

最常见的沉积环境按自然地理景观或地貌单位分类如下: (表 1 和图 2)

目前各家对于上述沉积环境类型的划分虽不尽相同, 但差别不太大。至于各种沉积环

常见的沉积环境分类表

表 1

大 陆 环 境 组	海 陆 过 渡 环 境 组	海 洋 环 境 组
1. 冰川环境 2. 沙漠环境 3. 冲积扇或洪积扇环境 4. 河流环境 5. 沼泽环境 6. 湖泊环境	1. 三角洲环境 2. 河口湾环境	1. 滨海(海岸)环境 2. 浅海环境 3. 半深海环境 4. 深海和重力流环境

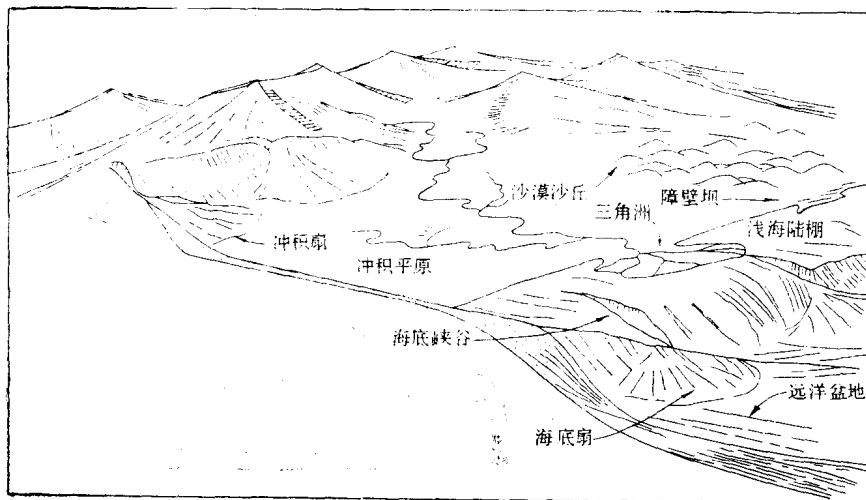


图 2 常见的沉积环境景观图  
(据塞利, 1983)

境中有关沉积相的划分, 目前, 尚无统一意见, 对于沉积相还没有或很难进行严格而具体的分类和命名, 仅仅只作了一般性的特征描述。

本书选择了与油气关系较密切的几种主要碎屑岩的沉积环境进行介绍, 即冲积扇、河流、湖泊、三角洲、河口湾、滨海、浅海以及半深海—深海和重力流环境。

### 第三节 沉积环境研究的进展和意义

沉积相和沉积环境的研究是地质学中一门综合性很强的分支学科。它所涉及的学科范围较为广泛, 其中包括有沉积岩石学、地层学、古生物学、古生态学、地貌学、海洋地质学、构造地质学、流体力学和地球化学等。进行沉积环境的研究分析要求具有上述各学科的有关知识; 这些有关学科的发展又大大促进了沉积环境的研究。近廿余年来, 由于沉积学、海洋地质学、板块构造以及其他学科的迅速发展, 对需求量日益增加的石油、天然气和其他沉积矿产资源的找寻和勘探, 以及新技术和新方法的应用, 使人们对沉积环境的研究进入了一个新阶段。其主要进展与成就, 可以大致概括为如下几个方面:

1. 大力开展现代沉积的研究。除对三角洲、河流和海岸环境以及碳酸盐沉积进行广泛而深入的研究外，对深海远洋盆地、浅海陆棚和湖泊的研究也取得了很大进展。近些年来，我国也陆续开展了三角洲、湖泊、河流和海岸等现代沉积的研究。这为进一步研究古代沉积提供了重要依据，大大推动了古代沉积环境的研究，使“将今论古”的现实主义原则和比较岩石学方法得到更充分的运用。

2. 通过对现代深海沉积、古代复理石沉积、室内水槽模拟实验以及现代湖泊和水库的观察和研究，提出了著名的“浊流”理论，认识了浊流在沉积物搬运和沉积过程中的重要作用。所谓浊流就是一种高密度流，它是由于富含悬浮物质而产生的、沿水下斜坡流动的高密度流体，并可将粗粒碎屑物质搬运至深海或湖泊中去。浊流理论的提出，可以说是沉积学上的一次重大革命，它使一些传统的概念，如普遍流行的机械沉积分异理论，受到了很大冲击。

3. 如前所述，在现代和古代沉积以及室内模拟实验综合研究的基础上，提出了沉积模式的概念，并且为各种沉积环境建立了沉积模式，并进一步研究各种沉积环境的沉积作用及形成机理。

4. 在碳酸盐岩的成因认识方面也有了很大的进展。过去认为碳酸盐岩主要是化学和生物化学成因的，而现在则认为绝大多数碳酸盐岩是机械作用和生物沉积作用形成的。通过电子显微镜研究发现，许多碳酸盐颗粒，甚至基质都是由微体化石和超微体化石的骨骼组成的。在此认识的基础上，福克（Folk）和顿哈姆（Dunham）提出了碳酸盐岩的现代分类，大大推动了古代碳酸盐沉积环境的研究。所有这些认识都进一步证实，碳酸盐岩不仅见于浅海环境，而且还大量形成于潮间带和潮上带，甚至在深海中也可形成碳酸盐浊积岩。

5. 与沉积环境研究有密切关系的一些新的边缘学科，如地震地层学、测井地质学和生痕学等的迅速发展，进一步推动了沉积环境的研究，特别是在大面积的复盖地区。

6. 随着生产发展的需要和科学技术水平的不断提高，沉积环境的研究已从局部地区发展到全球，从宏观研究进入到微观研究，从定性分析发展到定量分析。同时，随着电子计算机的发展和数理统计学的应用，沉积环境的研究与数学地质相结合，进行数学处理，甚至进行水动力条件和沉积环境模拟的研究。

沉积环境的研究是一项重要的基础地质工作。这种研究不仅具有理论意义，而且具有很大的实际意义。其理论意义表现在，通过重塑沉积环境，了解和研究地质时期的古地理面貌和盆地发展史，进而研究有利于沉积矿产形成的条件和分布规律。其实践意义在于指导沉积矿床的寻找、勘探和开发。近廿年来，无论在国外还是在国内，研究沉积相和沉积环境已成为寻找和勘探油气资源所必不可少的重要手段之一，而且取得了较为明显的效果。如尼日尔油田的发现是与三角洲沉积的研究密切不可分的。而在寻找非构造的隐蔽油藏时，砂体沉积相和沉积环境的研究就尤为重要。

## 第二章 判别沉积环境的主要标志

### 第一节 概 述

判别古代沉积环境是一项复杂而艰巨的工作，它涉及到许多学科方面的知识。但沉积环境分析（或称相分析）的基本方法主要是通过对古代沉积中那些具有指示环境意义的成因标志进行综合分析和研究，然后与以现代沉积物研究为基础所建立的沉积环境模式进行比较，重建或恢复古代沉积环境。

上述方法包括两个方面的基本内容：其一是对古代沉积的各种成因标志进行综合分析和研究，其中包括生物、物理和化学等标志；其二则是将这些标志特征与现代沉积环境进行对比研究，进而解释古代环境——此即为“将今论古”的现实主义原则。只有综合研究上述两方面的内容才能最后确定沉积环境。由此可见，沉积环境分析是一项综合性的分析工作，只有综合分析各方面的资料，才能比较可靠的判断古代沉积环境。其中确定成因标志及其指示环境的意义是一个最基本、最关键和最重要的问题。

对于石油地质工作来说，主要是研究砂岩体或碳酸盐体的沉积环境，因为它们是油气储集层的主要组成部分。砂岩体是指在某一环境下形成的，具有一定形态、岩性和分布特征，并以砂质物为主要成分的沉积岩体。要想搞清储集层的特征和分布，必须从研究砂岩体着手，即研究砂岩体的岩性、物性特点、形态、大小和分布规律等特征，而这些特征的研究又必须与沉积环境的成因分析结合起来。

沉积环境分析的基础是“将今论古”的现实主义原则和比较岩石学方法。所谓“将今论古”的原则就是人们从现代各种环境中研究沉积物的成分、结构、构造、生物群等特征，并探求这些特征与自然地理环境之间的内在联系，把其中具有指示环境意义的沉积特征作为成因标志应用于古代环境分析中去。如泥裂是饱含水的泥质物经干化和压实作用后形成的一系列收缩裂隙，层面上表现为网状龟裂面。在现代环境中，泥裂最发育的地方是在那些经常暴露于地表的饱含水的沉积物表面上，如河漫滩、潮上带、湖滨和海岸等环境。因此，人们便可根据古代沉积中泥裂的存在而推断上述沉积环境的发育。可见“将今论古”的现实主义原则在沉积环境分析中具有十分重要的意义。因此，许多地质学家和其他有关学科的科学家都对现代环境的沉积作用和沉积物进行了大量的研究。

但是，现实主义原则也不是绝对的，不能过分夸大其作用。应当以辩证唯物主义的观点来对待它，也就是说要以发展的观点来应用这一原则，不能将现代沉积环境和古代环境完全等同起来。例如，海百合在古代发育在典型的浅海环境中，而在现代却生活于深水之中。又如板足鲎这一生物化石，曾被认为是典型的海相标志，但后来的事实证明，它仅仅在早古生代才是典型的海洋生物，而至晚古生代就仅见于半咸水或淡水中。因此，运用现

实主义原则不能忽略生物的发展演化和事物的变迁，否则只进行机械对比，容易导致不正确的结论。

成因标志是指那些在沉积环境分析中具有成因意义的各种特征。这些特征一般都是沉积岩的原生特征，其中包括沉积岩的颜色、类型、物质成分、结构和构造、生物化石和古生态、接触关系、沉积序列以及沉积岩体的形态和分布等等。但概括起来不外乎属于生物、物理和化学等三方面的标志。其中个别标志可以直接说明它们形成时的沉积环境，然而大多数标志只能反映环境的某一方面的特点，如水的含盐度、水深、水动力的性质和强度、沉积介质的酸碱度、沉积物的搬运方式……等。下面分别阐述各种主要成因标志。

## 第二节 生物标志

沉积物或地层中的生物化石不仅可以鉴定地层的地质年代，而且也是进行沉积环境分析的重要标志之一。

根据对现代沉积环境中生物种群观察，生物群的分布及其生态特点严格地受环境控制。可以说从生物出生到死亡，终生都受环境因素的制约，甚至在生物死亡后还影响其是否能保存为化石。各种生物都只能适应一定的环境，如陆生生物所必需的生存条件和地理纬度、气候、地形等条件有关；海洋生物则要求相适应的海水含盐度、水深、水温、光照和底层性质等。因此，在一定的沉积环境内均有与之相适应的特殊生物组合。由于长期适应环境的结果，各种生物在其习性方面和实体形态构造上都具有反映环境因素的特征。因而反过来，可利用其古生态特征来推断生物的生活环境。上述两点是利用古生态资料来研究地质时期古地理、古气候所依据的基本原理。根据生物组合和古生态特征，并运用“将今论古”的原理来恢复环境要素的方法，称为古生态法。目前已发展成独立的分支学科，称为古生态学。

但是，也要看到古生态法的局限性和复杂性。首先，生物本身处于进化过程中，随着环境的变迁也发生变异，如海百合及腕足动物在晚古生代广泛居住于浅海，而在现代浅海中仅残留少数的类别，它们大多数则迁居到深海环境中去。其次，古代生物和现代生物的面貌不同，有许多种属已经灭绝，这就造成现代生物生态资料的缺乏（如三叶虫、笔石等），只有那些在古代和现代都很繁盛的生物应用效果较好。故越近于现代越容易比较。一般自古生代以来均可不受时间限制。还应指出，并非在所有的地层内都能找到指相化石；而且化石群埋藏的地方和反映沉积环境的生物群也可出现不一致。如大陆生物遗骸可被河流带入海洋，海洋生物也可因潮汐或生物等因素而带到陆地。所以必须对各种标志综合分析，才能进行正确判断。

由于生物适应能力是在漫长的地质时期逐渐发生变化的，以及受研究程度的影响，目前古生物标志的应用主要在划分大的环境方面起着重要作用，如海洋、大陆及海陆过渡地区的划分，而对各种亚环境详细的划分则受到一定的限制。一般来说，根据化石群特征不难判别海洋与大陆沉积环境，如有大量植物化石出现，特别是植根、碳质泥岩和煤层的出现，反映了大陆环境。当然海陆过渡地带的判别则更为复杂些。

海洋是生物生命的“摇篮”，至今它仍然是生物的重要生活领域。对现代海洋生物的一般生态耐力的了解，有助于确定古代沉积环境。下面主要介绍海洋环境中的主要生物（无脊椎动物和藻类）生态耐力，这里涉及的只是较大一级的门类，对有些生物群也可能提供更为详细的环境差异资料。

海洋生物生活的环境要素主要包括水体的含盐度、深度、清浊度和底层性质等。

## 一、生物与盐度的关系

就含盐度而言，除了淡水与正常海水之外，还有半咸水（混盐水）及超咸水环境（表 2）。生物对盐度的适应能力（即耐盐性）是区别海洋和非海洋环境的决定因素。

1955年威尼斯盐度分类方案（简化）

表 2

类 别	盐 度‰	含 氮 度 ‰
淡 水	0—0.5	<0.3
混 盐 水	少 盐 水	0.5—5
	中 盐 水	5—18
	多 盐 水	18—30
真 盐 水	30—40	18.5—22
超 盐 水	>40	>22

众所周知，生活在水环境中的生物体液中保持着一定浓度的营养盐，其浓度与所处的水体盐度近似。如海生生物体液的盐度与海水是保持平衡的，它无需进行渗透调节，可直接通过体壁的半渗透膜控制液体的渗入和渗出。但当海生生物处于淡水中时，平衡遭到破坏，则会导致体内盐类向淡水中扩散，淡水则向体内渗透。当处于超咸水中时，则会发生相反过程。对水体介质的调整，各种生物的适应能力不同，有的盐度稍一改变，生物即行死亡，这种生物称为窄盐度生物。有的生物能适应较大的盐度变化，这种生物称为广盐度生物。而窄盐度生物极不容易随时间而发生变化，因而是判别古盐度的可靠标志。

生物的耐盐性与海水含盐度的关系如图 3 所示。由图中可见如下几类生物组合：

### （一）不同含盐度的生物组合情况

1. 正常海水生物组合：包括钙质红藻和绿藻、放射虫、硅质鞭毛虫、颗石藻、钙质有孔虫、钙质和硅质海绵、珊瑚、苔藓虫、腕足动物、棘皮动物、藤壶、鲎、软体动物的有板类、掘足类及头足类等。

其中具有可靠的指示性生物是只能适应正常盐分的底栖生物门类，如珊瑚、多数具铰钢的腕足类、棘皮动物及头足动物等。而已灭绝的生物，如蝶、古杯类、层孔虫、软舌螺、三叶虫、竹节石、牙形石等，在地层中常与那些其现代后裔完全是或大部分是海生的化石共生，是古代正常海生生物的代表。

其他尚有大量广盐度生物种群，如少数苔藓虫和钙质有孔虫、藻类、舌形贝和移动的棘皮类和头足类等，它们能从正常海移到过渡海生活。这些化石的任何一个门类或几个不同门类在一起，或与耐盐度高的门类在一起，均可说明是一种与广海相毗邻的、并因某种因素稍受限制的海水环境。

最后，在海生生物组合中还有蓝绿藻、硅藻、胶结壳有孔虫、普通海绵、钙质蠕虫管、瓣鳃类、腹足类、介形类及其他甲壳类等，它们属耐盐度较高的生物。这些生物分布范围较广，从淡水—淡化海—正常海—咸化海都有，因而它们的存在并不能说明为海洋环境。

2. 半咸水生物组合：包括上述耐盐度较高的几个生物门类中为数有限的几个类别，如瓣鳃类、腹足类、介形虫、鳃足亚纲、软甲亚纲、胶结壳有孔虫、硅藻、蓝绿藻和蠕虫管等。

3. 超咸水生物组合：一般与半咸水生物组合类似，但当盐度很高时，只有鳃足亚纲的无甲目、蓝绿藻和介形类等生存。

4. 淡水生物组合：主要是轮藻、带壳变形虫，以及少数特殊的瓣鳃类、介形虫、鳃足亚纲的贝甲目、普通海绵、硅藻、蓝绿藻等。它们都属窄盐度生物，可以各种组合形式出现。

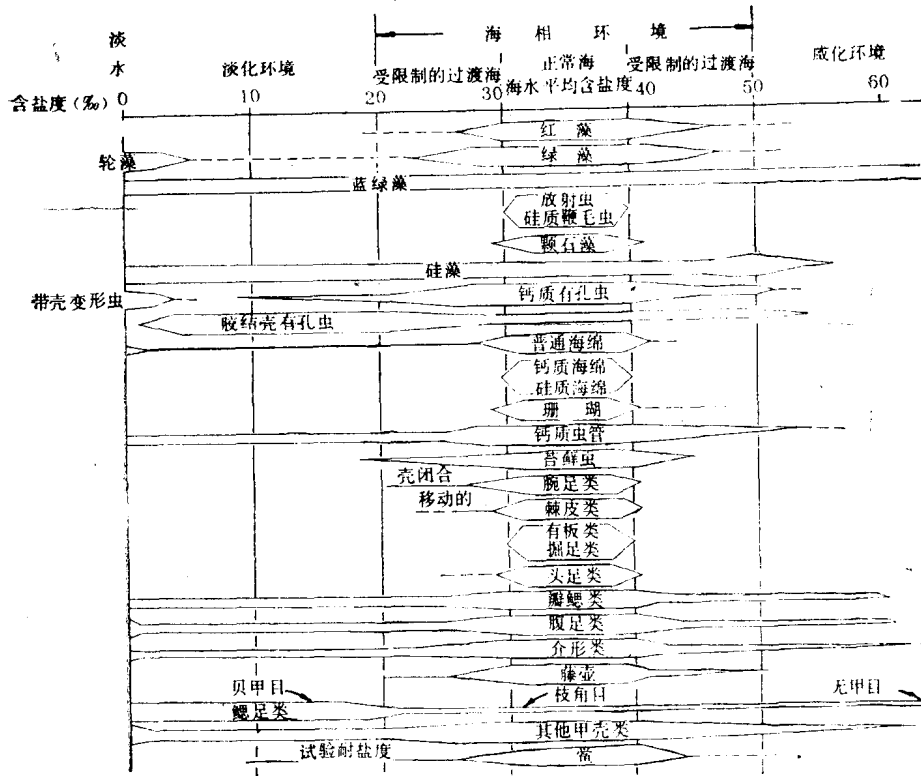


图 8 生物的耐盐性与水的含盐度的关系  
(据赫克尔, 1972)

由上述可以看出, 在正常海中生物门类是最丰富的, 随着水的咸化或淡化, 生物门类和种属都会相应减少。而限于海陆过渡环境的生物, 一般都是由广盐度的(属大陆或海洋的)生物种属演化而来。根据海陆过渡带特有的半咸水生物种属, 或者根据广盐度生物占优势的特征、化石群分异度反常以及海洋和大陆生物相互混杂等特点, 可以判别出海陆过渡环境。混杂的生物群是由于受限制的边缘水体中不同含盐度环境的迅速演变, 而与此有关的沉积作用尚来不及将各类生物分开所造成。

## (二) 判别古盐度的其它标志

除了化石的门类和属种组合是判别古盐度的首要标志外, 尚有一些其他特征可供分析时参考。

1. 化石形态: 一般海洋与大陆都有的介形类化石, 海洋中的介形类化石其壳饰比较发育(仅少数例外); 有些壳饰类型, 如垂直生长线的肋纹, 为海洋和海陆过渡环境的生物所特有。一些广盐度型属种进入非海洋环境时, 容易产生螺旋壳松旋, 钙质壳缺钙(如壳薄、体小、壳饰减弱及个体畸形)等反常现象。

2. 化石群的分异度: 是指某生物群中分类单元(如科、属、种)的多样性程度。根据生态学研究, 生物种类及个体数量随着沉积环境(如盐度、深度、温度等条件)的变化而有明显的增减现象。化石群的分异度使大量古生物资料数字化、精确化。在生物属种组合区别不明显, 或缺乏属种生态环境资料时, 分异度是古环境分析的一项有效的辅助手段。据统计, 现代水生生物以正常盐度的海水中最多, 随盐度偏离而明显减少。而海生化石群的种属通常也比大陆的丰富, 即简单分异度较高。如果统计化石群内各个种的个数比例, 所计算出的复合分异度值, 海生与大陆化石群的差别就更明显。

3. 生活方式: 某些生物生活方式常为海洋生物所特有, 如用根状物固着于水底或用壳瓣固着于基底

的动物（海百合、牡蛎等）及造礁生物均常见于海水中。

应当指出，根据与海洋的关系划分沉积环境不能仅限于盐度。如淡化的海湾（波罗的海北部）其盐度可以接近于淡水；而在水分蒸发量大于注入量的内陆湖泊，却可形成咸水湖或盐湖。因而还需要了解水体中溶解的盐类化学成分及其百分比。只有综合生物与化学特征，才能可靠地分析、推断古沉积环境。

### （三）我国一些地区新生代微体化石的重要意义

与我国油区有关的中新生代地层中微体动物化石（如介形虫、有孔虫等）较丰富，它们对沉积环境的分析有着重要的意义，现单独简述如下：

#### 1. 有孔虫

有孔虫为海生单细胞动物，从奥陶纪开始到现代，广布于世界各地。大部分有孔虫为正常海水生物，少数生活在半咸水中。其个体一般小于1mm，个别可达5mm或更大。

按生活方式，有孔虫分浮游与底栖两大类，现代浮游有孔虫集中生活在海水上层0—100m处，少数达1000m深，以浅海陆棚以外较多。这种有孔虫属大洋性窄盐度生物，浮游有孔虫的大量出现是正常海标志。现代底栖有孔虫主要分布在浅海，个别可达4000m深的海底。这种底栖生物中有一批个体较大，内部构造复杂，如古生代的**蛭科**、新生代的**货币虫**、**圆盾虫**等“大有孔虫”。它们只分布在热带浅海，也属窄盐度海洋生物。

在海陆过渡环境中有孔虫亦有广泛分布。例如在滨海边缘环境的河口区，在海水影响所及的范围内可出现有孔虫。如我国长江口江面宽阔，潮汐较强，在入海口以上150km左右的江阴附近，还可发现十余种有孔虫，它是世界上有孔虫上溯河口最远的一例。有孔虫在长江口以外可达数十种，到崇明岛以上仅十余种，而海水影响不到的淡水段中只见有带壳变形虫而无有孔虫（图4）。

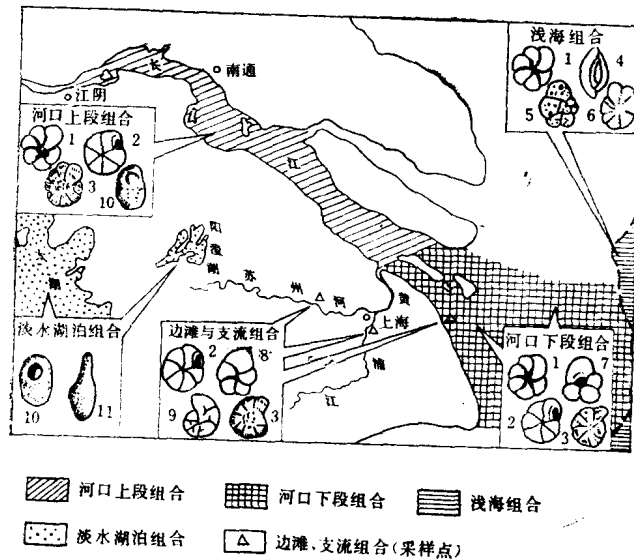


图4 长江口现代沉积中有孔虫带壳变形虫组合分布示意图

（据同济大学，1974）

1. 毕克卷转虫 (*Ammonia beccarii*);
2. 夸良小上口虫 (*Epistominella naraensis*);
3. 先希望虫 (*Protelphidium*);
4. 粟米虫科 (*Miliolidae*);
5. 胶结壳有孔虫;
6. 希望虫 (*Elphidium*);
7. 浮游有孔虫;
8. 玫瑰虫? (*Rosalina?* sp.);
9. 假上穹虫 (*Pseudosponides*);
10. 圆盒虫 (*Centropyxis*);
11. 砂壳虫 (*Difflugia*)



又如泻湖中的有孔虫群，同样也视其与海水接近程度而异。在委内瑞拉的马拉开波湖，有孔虫种数从委内瑞拉海湾的数十种减少到马拉开波海峡的3—4种或2种；到湖口附近仅剩1种；湖内淡水中则全无有孔虫生存。滨岸带的有孔虫群，同样显示了从潮下带经潮间带到潮上带逐渐贫乏的趋势。

海陆过渡环境有孔虫的辨认标志可归纳成四点：

(1) 种属单调 在半咸水的特殊环境中一般只有少数几个属种能够适应。现代常见的、最重要的半咸水有孔虫属种如图5所示。有时还可见到单种或基本上单种组成的有孔虫群。例如，潜江盆地、济阳拗陷早第三纪的有孔虫一般都由圆盘虫 (*Discorbis*) 或诺宁虫 (*Nonion*)、卷转虫 (*Ammonia*) 等属的单种组成。

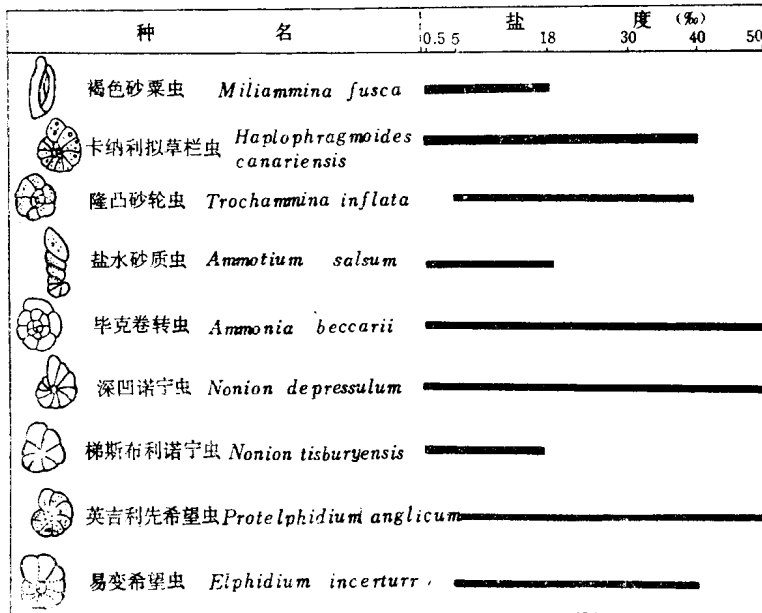


图5 常见的半咸水有孔虫盐度分布范围  
(据同济大学, 1980)

(2) 壳壁中钙质减少 由于钙质减少，有机质增多，壳壁可出现珍珠光泽。另外，壳壁亦变薄，壳体变小，壳饰减弱。甚至胶结壳可由铁质胶结而成（如褐色砂粟虫）。

(3) 种内变异强，畸形个体多 当生态条件变化时，常出现旋卷壳松旋，平卷壳不对称，房室不规则增大等现象。

(4) 特殊的共生组合 半咸水有孔虫群常与非海生软体动物、介形虫、轮藻、有壳变形虫等共生。

与海水全无联系的内陆盐湖地区（如我国青海湖、美国大盐湖）均未见有孔虫，只有介形虫及有壳变形虫。因此，地层中有孔虫的发现可为海侵提供最有力的证据。

## 2. 介形虫

介形虫在寒武纪出现时全部为海生，从志留纪开始出现半咸水介形虫，到石炭纪开始已有淡水介形虫。现代介形虫的生活领域很广，可在一切水域中生存，在海洋、大陆及海陆过渡地带的水体中均有。但是，它们是过渡环境与大陆环境中微体化石的主要门类，因而对中、新生代海、陆地层的认识具有重要意义。据同济大学调查，各种环境的介形虫组合如下：

淡水湖泊：玻璃介、丽花介、土星介、斜星介、斗星介、小玻璃介、个别的湖花介等；