

美国石油地质学家协会进修丛书

(九)



理查德 C. 塞利 著

地下相分析的概念和方法

石油工业出版社

8834

P588.2

003

美国石油地质学家协会进修丛书(九)

地下相分析的概念和方法

-301/11

理查德 C. 塞利 著

陆伟文 宋秀珍译 徐怀大校订

石油工业出版社

内 容 提 要

本书为《美国石油地质学家协会进修丛书》之九。系作者的讲课提纲，全书共分六讲（中译本改为六章）。本书主要介绍地下相分析中所涉及的基本概念和方法，内容简要，对有关地下相分析中的关键问题，多进行了论及。

可供石油、地质、煤炭系统地质技术人员、科研人员及院校师生参考。

Richard C. Selley

CONCEPTS AND METHODS OF SUBSURFACE FACIES ANALYSIS

This is an author-prepared publication distributed by the AAPG department of educational activities second printing, November, 1978

美国石油地质学家协会进修丛书（九）

地下相分析的概念和方法

理查德 C. 塞利 著

陆伟文 宋秀珍译 徐怀大校订

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

787×1092毫米 16开本 3¹/₂印张 76千字 印2,001—7,000

1981年11月北京第1版 1982年6月北京第2次印刷

书号：15037·2313 定价：0.40元

前 言

本书系根据地质矿产部岩石学教材编审委员会1982年在北京大学地质系召开的会议上决定由长春地质学院和武汉地质学院负责合编一本高等院校适用的沉积岩石学参考教材而组织编写的。

本书是结合两个院校给大学生和研究生开的沉积岩专题课内容和考虑沉积岩石学的主要方面，按专题分章编写的。本书内容一方面注重论述沉积岩的宏观组合—沉积相与建造，同时还注重将今比古，写了现代沉积环境一章，还编写了综合性的分析沉积岩的组合体和组合系列特征的章节；另一方面，本书也论述了沉积岩中主要岩类的岩石类型、微观特征和研究的方法和内容。在沉积岩石学基本理论方面，编写了沉积岩的沉积作用和成岩作用的有关章节；专题论述了水的化学性质和物理性质，以及水动力特征及其产物特征。对沉积岩石学基础部分，编写为沉积岩石学导论一章。所以，本书适合高等院校沉积岩石学一般专题课的参考教材，也可供侧重沉积岩或沉积矿产的地质培训班之用，或供涉及沉积岩研究的地质工作人员用作参考书。因篇幅所限和为了体现沉积岩石学中的重点，对于一些较特殊的专题未编入本书，如沉积岩的一些小岩类，一些沉积矿物的矿物学研究，碎屑颗粒的形状和表面结构，粒度分析，沉积构造和原生组构等。其中有些专题可单独编写，有些已有专门论著出版。欢迎对现在章节中的不当或不足之处提出宝贵意见。

本书共分十章。第一章，第二章，第四章第一、二、三节，第五章，第七章由武汉地质学院负责编写；第三章，第四章第四节，第六章，第九章，第十章由长春地质学院负责编写；第八章系两校合编。

参加编写的人员有武汉地质学院的何镜宇、余素玉、杨慕华、徐安顺等同志；有长春地质学院的孟祥化、姚振武、文琼英、徐开志、单满生、刘志英、梁桂香等同志。武汉地质学院肖诗宇同志和五六二综合大队葛铭同志协助作了部分工作。全书由何镜宇教授和孟祥化教授担任主编。

张鹏飞副教授和陈景维副教授审阅了全稿，提出过许多宝贵意见。此外，还得到武汉地质学院，长春地质学院，中国地质科学院五六二综合大队，河北省综合研究大队等单位绘图室的大力支持。在此一并表示感谢。

编 者

一九八五年六月

目 录

第一章 总论	1
第1节 沉积环境	1
第2节 沉积相	2
第3节 沉积模式的概念	3
第4节 沉积层序、沉积增量和沉积旋回	3
第5节 沉积相的环境鉴别	3
第6节 地下相分析方法	4
第二章 陆相	9
第1节 沉积的物理作用	9
第2节 扇积砾岩	10
第3节 辫状河道体系的河流相	11
第4节 曲流河道体系的河流相	13
第5节 湖泊相	13
第6节 风成相	16
第三章 舌状(三角洲)海岸线相	19
第1节 海岸线相简介及分类	19
第2节 三角洲相	19
第四章 线状的(障壁)海岸线相	27
第五章 陆架相	31
第六章 深海相与深海作用	36
参考文献	43

第一章 总 论

第 1 节 沉积环境

一、定义：沉积环境是地球表面的一部分，它在物理、化学和生物性质上不同于相邻的地区。例如，三角洲、礁、海底扇。

二、划分沉积环境的边界参数

(一) 物理参数——温度、流速、水深、风速及方向等。

(二) 化学参数——水的成分（含盐量），沉积物源的矿物成分。

(三) 生物参数——陆地上：草及森林植被；海洋中：生物类型，它们的活动能力（例如潜穴活动）和骨骼成分。

三、剥蚀环境、平衡环境和沉积环境

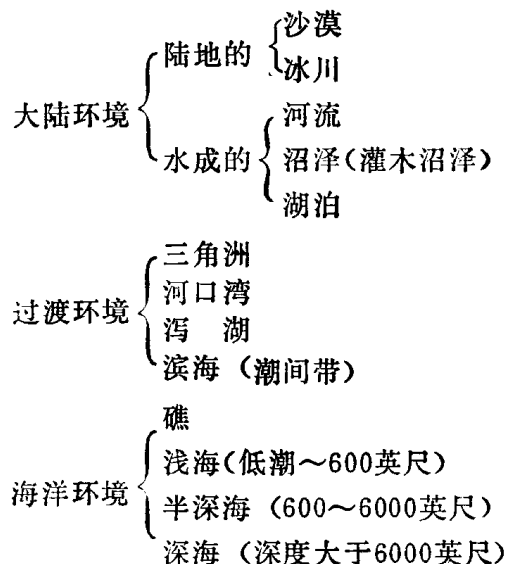
(一) 剥蚀环境——主要是陆相的，很少作为不整合面而保存下来。

(二) 平衡环境——土壤地平面（红土和钙质层），准同期胶结的灰质及锰质海底（硬地）^①。

(三) 沉积环境——主要是水下的。

四、环境分类

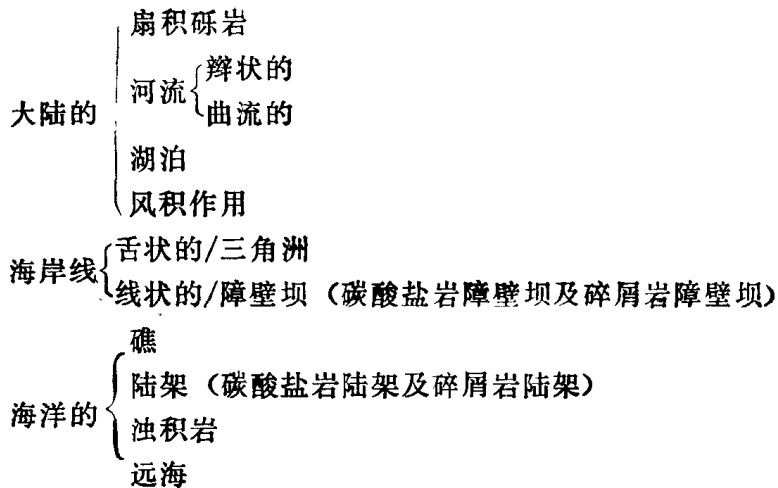
(一) 经典分类（或称“Lyellian”分类）



该分类的限制条件：1. 包括许多无沉积作用的环境；2. 在古代的沉积中，深度明确的环境难于识别，而且是不肯定的。

(二) 沉积环境的分类（据Selley, 1970）

^① 硬地 (hard ground)：即固结的现代碳酸盐岩。



这是一个适用于古代沉积岩研究的分类。

五、环境和亚环境：主要的沉积环境可再细分为亚环境。例如：

环境	亚环境
河流	活动的河道
	漫滩/洪泛平原
	废弃的河道 (牛轭湖)

第 2 节 沉积相

相是一个意味着岩石特征的名词。这个重要的地质概念可以追溯到 Teichert (1958), Gressly (1838) 和 Steno (1669) 的著作。

一、定义：“沉积相可定义为一个指定的地层单元，在一个地区上有限制的部分，该地层单元在这个有限制的部分内的特性与其它部分有明显的不同 (Moore, 1949)。更确切地说：“一个沉积相是一个岩体，可以根据它的几何形态，岩性，沉积构造，古水流模式和化石加以确定，并与其它岩体相区分” (Selley, 1970)。

二、沉积环境和沉积相之间的关系

一个沉积相是一个沉积环境的产物，一个沉积环境的特定类型的产物，环境和相绝不能混为一谈。同样的方法，环境可再分为亚环境，相也可再分为亚相 (图1)。

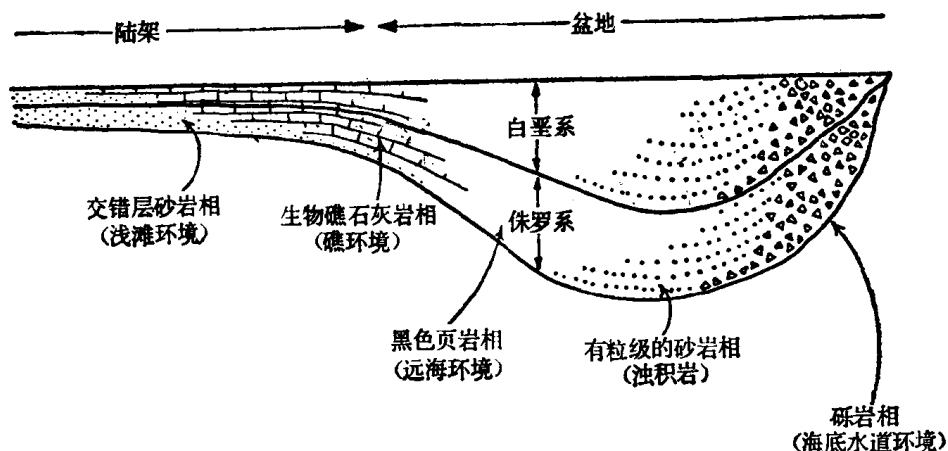


图 1 沉积盆地的横剖面 (表示相、环境和时间之间的关系)

第3节 沉积模式的概念

一、观测1：在今天的地球表面上，存在着数目一定的沉积环境。

检查要点：详细的检验表明，没有两个相似的环境是完全相同的。两个环境之间的边界可以是突变的，也可以是渐变的。

二、观测2：在地质记录中，存在着在时间和空间上反复出现、而数目是一定的沉积相。

检查要点：详细的检验表明，没有两个相似的相是完全相同的。相所显示的水平的和垂直的边界，即有突变的，也有渐变的。

三、注释：不知道起源的，古老沉积相的参数可以与已知沉积环境的沉积模式相对比。因而，古老沉积相的沉积环境也就可以知道了。

四、结论：总是有一定数目的沉积环境，沉积了带有特征性的沉积相，这些沉积相可以划归各种理想的系统或模式。

第4节 沉积层序、沉积增量和沉积旋回

一、Walther 定律

“相同相区的不同沉积和与此类似的不同相区的岩石之总和，它们在空间上是彼此相邻形成的，但是在地壳的纵剖面中，我们看到它们彼此相叠……意义深远的一个基本的说法，就是基本上只有在现代看到它们彼此相邻的那些相和相区才能叠置起来”（Walther, 1894）。更扼要地说法是：“一个连续的、垂直的相的层序，产生于环境的横向序列”（Middleton, 1973）。

这个定律是为许多近代的沉积环境业已证明了的、相分析的基本假设之一，其中的亚环境，一个跨过一个地向前推进。

二、成因增量和层序（Busch, 1971）

“一个地层的成因增量是一个沉积岩体，其中的相或亚相在成因上是彼此有联系的。例如，由三角洲台地，三角洲前缘及前三三角洲沉积组成的一个简单的三角洲棱状体”。

“一个地层的成因层序，包括一个以上相同成因类型的增量”。

三、层序和旋回

沉积相一般是排列成可以预测的层序（成因增量）。

层序一般是重复的形成一些成因层序，这就是旋回式沉积。

关键参考书：Merriam, 1964。

Duff, Hallam及Walton, 1967。

“所有的沉积都是旋回性的，有一些比另外一些的旋回性更多性”。

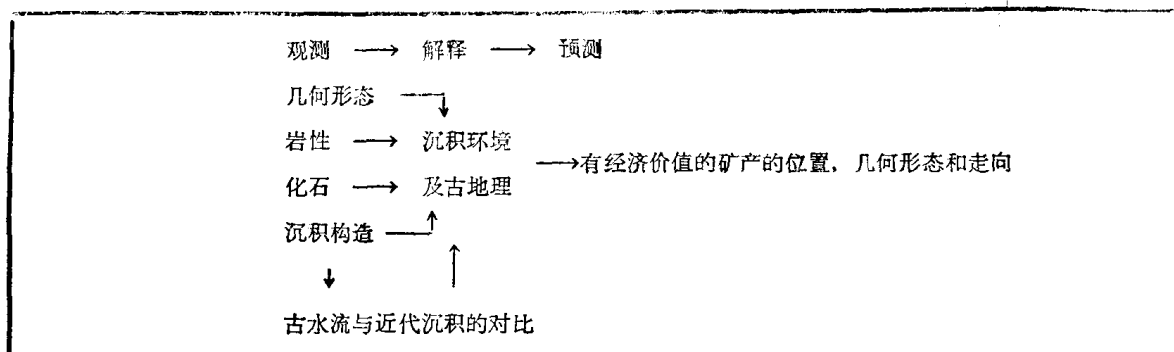
四、旋回性的成因

（一）内因旋回机理（Autocyclic）——一个沉积体系的组成部分，例如，由于决堤造成的三角洲分支河流的改道。

（二）外因旋回机理（Allocyclic）——起因于沉积体系外部的成因。例如，大地构造和气候的变化。

第5节 沉积相的环境鉴别

一、鉴别方法的流程图



二、具有环境意义的参数

(一) 几何形态——使用于露头研究，例如，河道或礁。也可以在地下研究中用地震方法来查明几何形态。

岩石几何形态的预测是石油地质学应用相分析的最终目的。

(二) 岩性——陆源的：作为能量水平指数的粒度，由沉积作用，而不是沉积环境控制的结构。注意继承性和成岩作用的问题。

碳酸盐岩：具有特殊颗粒类型的岩相经常是特定的环境。

(三) 化石

1. 作为造岩成分的大化石。
2. 作为环境指标的微体化石（注意改造和消亡^①的问题）。
3. 遗迹化石——注意鉴别特征组合，没有改造问题。

(四) 沉积构造——与其说是反映特定的沉积环境，莫如说是反映特定的沉积作用。整套比单独的沉积构造更为有用。

(五) 古水流^②——根据解释沉积构造来确定。

古水流模式分类 (Selley, 1968)：

环 境	水 流 向 量	区 域 模 型
河流 { 辫状河 曲流河	单模态的，低变化 单模态的，高变化	扇形的 受坡度控制的，与盆地形状有关的
风积作用	单、双或多模态的	与古坡度没有关系的
三角洲	单模态	区域性辐射的
海岸线及大陆架 浊流	双极的、罕见单模态或多模态的 单模态的	与坡度无关的 在海底扇上的辐射流，或与海沟轴线相平行的流动

① 原书中的extenction, 可能为extinction (消亡) 之误。

② 利用地震地层学方法确定古水流方向和古水流体系，比利用沉积构造更优越、更简便，最好是把两种方法结合起来，以便对水流条件得出更深入的了解。——校者

方位模式:

单模态的——单一方向的水流。

双极的——双极性（潮水的）的水流。

多模态的——复杂的水流系统。

区域的意义——把受水流系统控制的坡度与和水流系统无关的坡度区别开。

古水流控制的坡度指示古地理和盆地结构。它们都和油气运移的方向相反。

第6节 地下相分析方法

利用五个参数来确定相：几何形态、岩性、沉积构造、古水流和化石。

相和亚相按顺序排列。

一、几何形态

几何形态通常是最后才知道的参数，并且是整个实践的目标，但是：

（一）地下制图确定盆地结构，枢纽带，高地和海岸线。详细描绘时可以确定礁、河道等等。

（二）地震可以“看出”礁、三角洲、尖灭带、河道等等（Harms 和 Tackenberg, 1972）（Lyons和Dobrin, 1972）。

二、岩性

资料来源：岩屑和岩芯；测井资料。

（一）陆源砂岩

结构：作为能量水平指数的最大粒度。作为环境指数的粒度分析。这些指数可用于现代沉积中。但应用于古代沉积时则要注意：继承作用，成岩作用，解集作用问题（参见 Visher, 1965）。

成分：碎屑矿物指示物源和风化作用。自生矿物指示沉积以后的成岩环境。但是可以使用海绿石和碳质碎屑作为环境的指标（Selley, 1974、1975及1976）。

海绿石：仅仅发现在海相沉积中的自生矿物。指没有改造过的，它的存在指示了海相条件。但是不能反推。

碳质碎屑：煤、褐煤、干酪根，存在于海相或非海相的簸扬不好的沉积中，不存在于簸扬良好的海相或非海相的氧化沉积中。

砂岩的这些组分，在岩屑中易于发现，它们确定了四组主要的砂岩相（图2）。

（二）碳酸盐岩：主要是有机成因的岩性，严格地受沉积环境所控制。极细碎片经受着广泛的搬运。只要没有被成岩作用改变太多，碳酸盐岩的岩性经常是环境的鉴定特征。

三、沉积构造

资料来源：当有可利用的岩芯时，应当尽快进行沉积学的录井。

通常沉积构造反映沉积作用，但是几乎没有什么沉积作用是特定于任何一个单一的环境。例如，由于牵引水流造成的交错层理从冲积扇直到大陆架海都可能出现。

相反地，不同的作用可以产生相类似的沉积构造，因而就产生了区分风积物和水成沉积的问题。

整套的构造，特别是依据有一定意义的顺序排列的沉积构造，可能是鉴定的特征。例如将在后面讨论的包马序列和河道序列。

		海 相	非 海 相
		海 绿 石	没 有 海 绿 石
簸扬良好	没有碳质屑	障壁坝 砂 坝 浅 滩 } 海洋大陆架砂	风 积 物
簸扬不好	碳质碎屑	海底水道和海底扇	河 流 湖 泊 三 角 洲

图 2 按海绿石和碳质碎屑的存在与否将砂岩划分成四个主要的环境组：海相簸扬砂、非海相簸扬砂（风积物），既有海绿石，也有碳质物质的混合砂，通常发现于浊积岩，以及簸扬不好的非海相砂

沉积构造分类：

（一）原生（物理的）：

1. 无机的；
2. 有机的（遗迹化石）。

（二）次生（化学的）：成岩结核等等。

原生无机沉积构造表：

组	例	成因
沉积作用前的	河道 槽痕 (Flutemark) 沟痕 (Groovemark)	侵蚀的
沉积作用同期的	平层理 交错层理 交错纹理	沉积的
沉积作用后的	崩塌 滑动 负载铸型	变形的

四、古水流分析

资料来源：倾角仪（见Campbell, 1968; Mcdaniel, 1968及《斯伦贝尔倾角仪手册》）。

问题：对常用的斯伦贝尔程序来讲，读数太少，校正程序的面积选择太小。

使用：0.5×0.5对比间距。

仅仅A和B定性值读数小于35°。

五、古生物

问题：

1. 你能精确地知道绝种化石的环境界线吗？

实验基础上观测的倾角特性 (图3)

倾 角 特 性	伽 马 测 井 剖 面
1. 均一的 (斯伦贝尔公司用绿型表示) 2. 向上增加的 (斯伦贝尔公司用蓝型表示) 3. 向上减小的 (斯伦贝尔公司用红型表示) 4. 杂乱的 (钉子包) 成对的特色: 5. 向上增加并且下倾	均一的 (页岩): 沉积的倾角 向上减小的: 向上变粗的砂 向上增加的: 向上变细的砂 均一的 (砂): 块状砂 伽马值增加并且下倾: 决口扇形滩盖以河道沉积 (或断层, 或不整合面, 然而倾角特性通常与伽马曲线没有关系)

2. 化石可以保存在它们不能忍受、并杀死它们的环境中 (像是在河中淹死的猫)。

大化石: 除保存在岩芯中的以外, 用途有限。

微体化石: 在岩屑中是最好的幸存者, 甚至假定准确的环境条件不知道, 记录其比率也可以帮助进行相分析。例如, 大有孔虫 (底栖的) 比小的 (远海的) 有孔虫, 孢子/花粉比小的微体浮游生物。

生物遗迹化石^①: 仅仅保存在岩 芯中, 并显然是在原地。爬迹或潜穴的类型与环境有密切的关系。所代表的动物经常不清楚, 但是在整个显生宙, 在沉积环境和遗迹化石组合 (遗迹相) 之间存在着经验关系 (图 4) (Seilacher, 1967)。

注意, 当心海底兔。

六、根据测井解释环境^②

自然电位和伽马侧井两者都反映碎屑岩系中的粘土含量, 从而反映了粒度。

问题: 自然电位测井——致密的砂岩可能表现的像页岩。

伽马测井——海绿石、锆石和云母可以偏移读数。

在碎屑沉积中, 沉积物粒度的垂直剖面经常是环境的鉴定特征。所以伽马和自然电

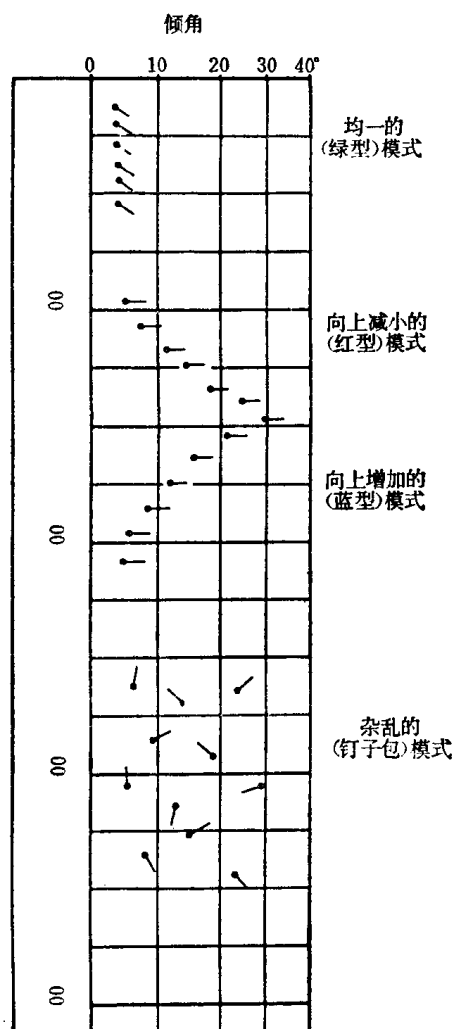


图 3 基本的倾角仪特性

① 生物遗迹化石: 实际上是生物成因的沉积构造, 它和沉积环境有密切的关系。——校者

② 利用测井资料解释沉积环境, 无疑是沉积学研究方法上的一大进步。然而, 正如本书作者所指出的那样, 绝不能单凭测井曲线作为沉积环境的判别特征。而必须辅以其它证据。目前有人把测井曲线作为“快速定相”的一种手段, 值得注意。如果把它作为提出可能的环境解释的一个标志是可行的; 但是, 如果依靠它作为定相标准, 则应斟酌。——校者

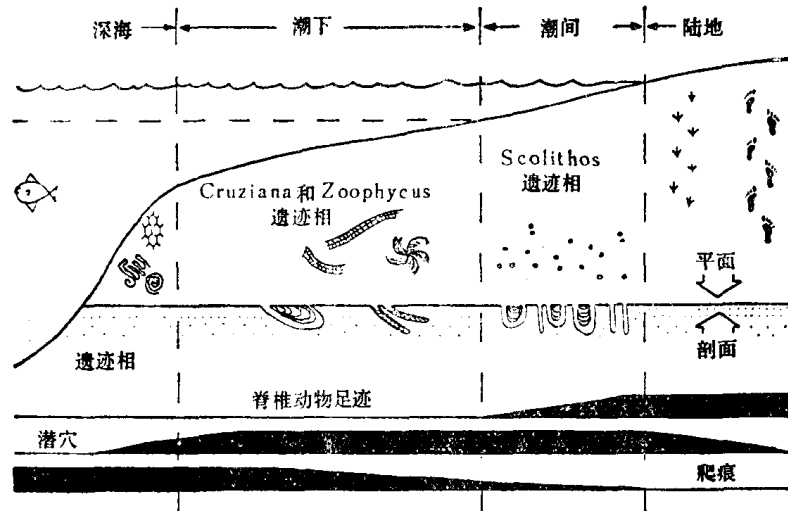


图 4 遗迹相和环境之间的关系 (据 Selley, 1976)

位测井是非常重要的 (Galloway, 1968; Pisher, 1969; Pirson, 1970, p36—58)。

测井特性与海绿石 (海相标志) 和碳质碎屑 (簸扬指数) 的垂直分布相结合, 在确定碎屑环境中是一个有效的手段 (Selley, 1974、1975、1976)。图 5 表示主要的测井特性和它们的各种组合及其解释。

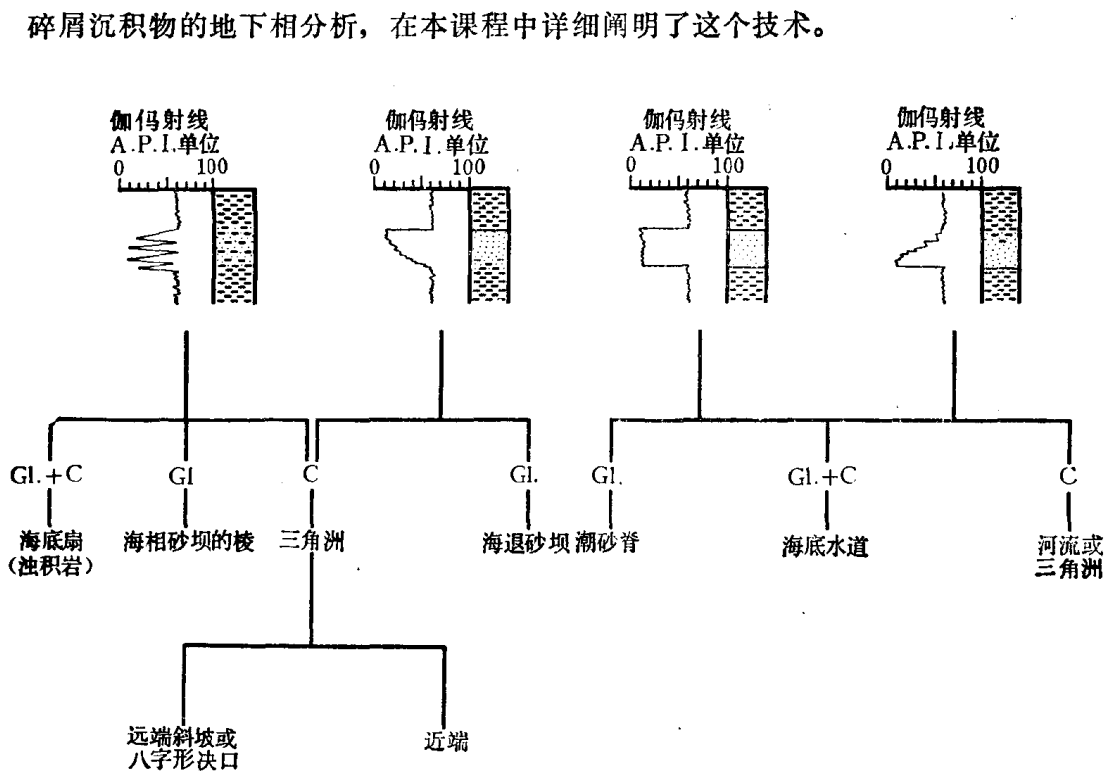


图 5 测井主要型式的性质。从左到右: 薄砂岩和页岩互层; 一个向上变粗的剖面, 顶部砂岩与页岩是突变的接触面; 均匀的砂岩, 上下接触面都是突变的; 最右边一个, 向上变细的砂,

页岩层系, 底面是突变的

Gl——海绿石; C——碳质碎屑

这些测井模式之中没有一个可以依靠它们本身作为鉴定特征。然而与海绿石和碳质碎屑的分布资料相结合，就确定了大量砂体的成因。

第二章 陆 相

所要研究的主要沉积环境：

山麓碎石堆积，冲积锥（冲积扇）

河流

湖泊

风积

主要的控制作用（见图 6）：

重力滑动	}	扇积砾岩
泥石流		
山洪		
牵引流	}	河流
悬浮物		
风		风积

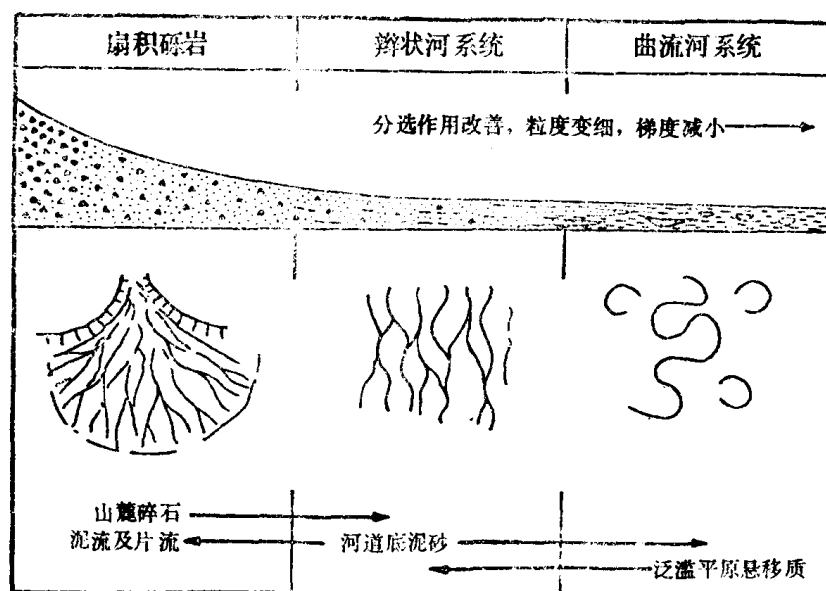


图 6 说明山麓相、辫状及曲流河冲积体系和相之间的过渡关系的图解

第 1 节 沉积的物理作用

流体	作用	沉积
空气	牵引流	交错层砂
	密度流	热云降落灰（火山灰）
	悬浮流	黄土
水	牵引流	交错层砂
	密度流	浊积岩
	悬浮流	纹层泥

来自牵引流的沉积作用:

底形	沉积构造
平面层	一点也没有
增加水波痕	交错纹层
流速度沙丘	交错层理
平面层	平层理
(逆沙丘)	交错层理)
↓	难得保存

在遭受牵引水流影响的沉积物底形中, 及其沉积构造都是受水流机制的控制, 这个机制就是全部水流变量的总和 (亦即, 速度、密度、梯度、深度、粘度 等等)(图7)。如欲进一步考虑沉积物的物理作用, 参见Allen, 1970, 极好的和详尽的文章, 以及Selley,

1975, p.169—199, 短的和讨人喜欢的文章。

第2节 扇积砾岩

严格地讲是一个相, 而不是一个环境。

定义: 在邻近于山前的山麓碎石和冲积锥上沉积的巨砾层、粗砂和少量的粉砂 (亦即, 产生在不整合面以上)。

作用: 重力滑动、泥流及片流。

沉积构造: 块状的或缺乏成层的, 沉积的倾斜可以从冲积锥处呈放射状散出, 交错层出现在末端部分。

古生物: 大化石贫乏, 微体化石可以包括花粉和孢子(氧化作用普遍)。

现代实例: 落基山区 (Bluck, 1964; Denny, 1965)。

古代的实例: 苏格兰的托里东 (Torridonian of Scotland) (前寒武纪的) 基底相 (Selley, 1965), 北海盆地边缘的二叠系和三叠系, 例如彭丽思谷地 (Penrith Valley)

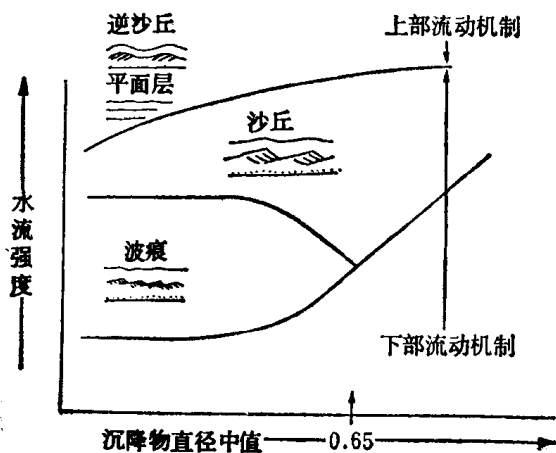


图7 在一个单方向性的牵引流系统中, 水流强度、沉降物直径、底形和沉积构造之间的关系 (据Simons等人, 1965。在冲积河道中由水流产生的沉积构造。见于: 原生的沉积构造和它们的水动力学解释 (Ed. G. Middleton)。Soc. Econ. Pal. Min. Sp. Pub. No. 12, p. 34—52, 图21)

的布鲁克拉姆 (Brockram)。

地下判断标准:

岩性：砾岩、粗粒分选很差的泥质砂。铁红色。

沉积构造：块状的、原始的自然层理。

古生物：花粉和孢子、保存能力很差。

倾角特性：在砾岩中的钉子包。绿型的模式可能反映沉积扇。

倾向的变换特征，反映扇形体的指状交错。

经济意义：对于重要的油藏来说，孔隙度和渗透率太低，而且体积太小。

第3节 辫状河道体系的河流相

产状：与曲流河道相比，季节性超负载的河流携带较粗的沉积物，并且梯度要陡些。

发现于链状山脉和冰盖的边缘，并浸入到山前侵蚀平原的沙漠上（图8）。

物理作用：为季节性的山洪暴发和河流水流。细组分被带走仅保存在废弃河道中（图9）。

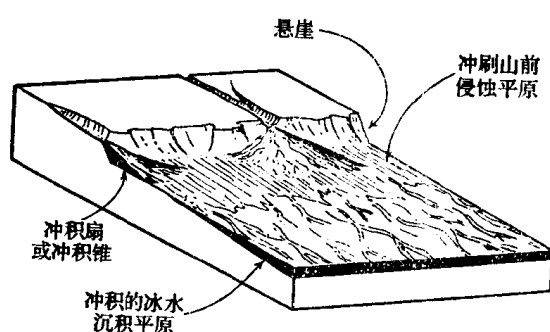


图8 山前侵蚀平原带地貌示意图

粗砂和砾石是由山崩、泥流和暴洪在冲积扇上沉积的，带有少量粉砂的砂是在辫状河道系统内，由季节性洪泛在冰水沉积平原上沉积的

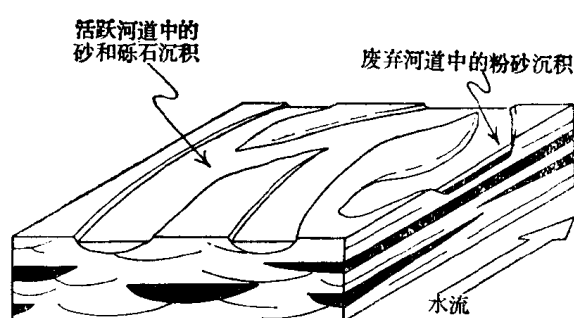


图9 由辫状河流沉积的冲积亚相的成因

古代的实例：

阿拉伯和撒哈拉的寒武—奥陶纪及努比亚（‘Nubian’）砂岩（Bennacef等人, 1971; Selley, 1972）。北西苏格兰的托里东尼恩（Torridonian）（前寒武纪）红色相（Selley, 1965）。

地下的判断标准

岩性：粗的，常常是砾状的砂岩，粉砂岩很少（10%），以红色氧化铁基质为特征。

沉积构造：交错层和平层理。准同期流沙变形普遍。

古生物：一般贫乏。

倾角特性：在页岩中借助于很少的绿型模式显示出构造倾角。在交错层中倾角的数量和方位都是均匀的，方位角的垂直变换是从河道到河道的特征（图10）。

经济意义

辫状河流的冲积沉积一般以厚的侧向延展的，高孔隙度和高砂-页岩比率的岩体出现。很多的页岩具有鞋带状的几何形态，并且不影响流体运移。

另一方面，这个相一般产在地盾和克拉通盆地中，这些地方通常缺失海相生油岩，和充足的地热去加热含油岩。

这个相在不整合面以下构成很好的油藏。这里正好有重要的时间和构造机制的间断，致使古代辫状冲积发生在有机的海相页岩下面的地垒上（图11）。

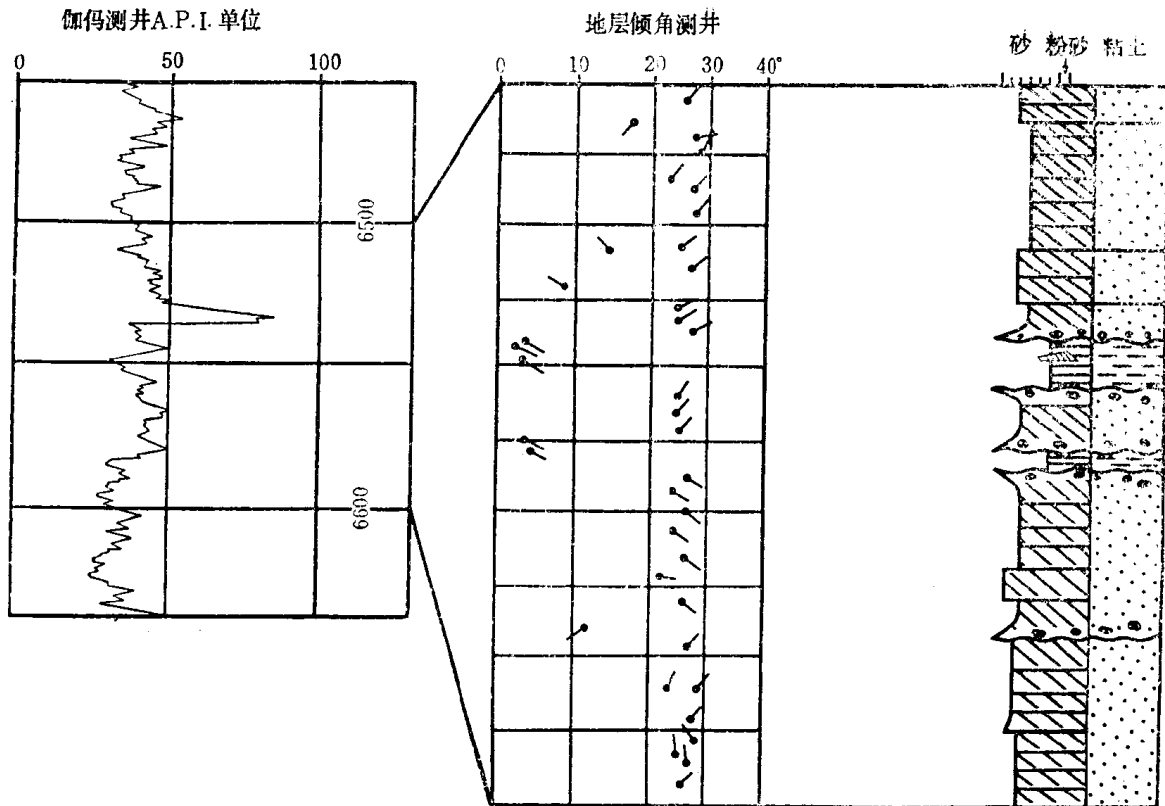


图 10 辫状河流体系的冲积相的测井特性

实例：

- 一、哈西梅萨乌德 (Hassi Messaoud) —— 阿尔及利亚 (Bennacef 等人, 1971)。
- 二、沙瑞尔 (Sarir) —— 利比亚 (Sanford, 1970)。
- 三、普鲁德霍湾 (Prudhoe bay) —— 阿拉斯加 (Morgridge 和 Smith, 1972)。

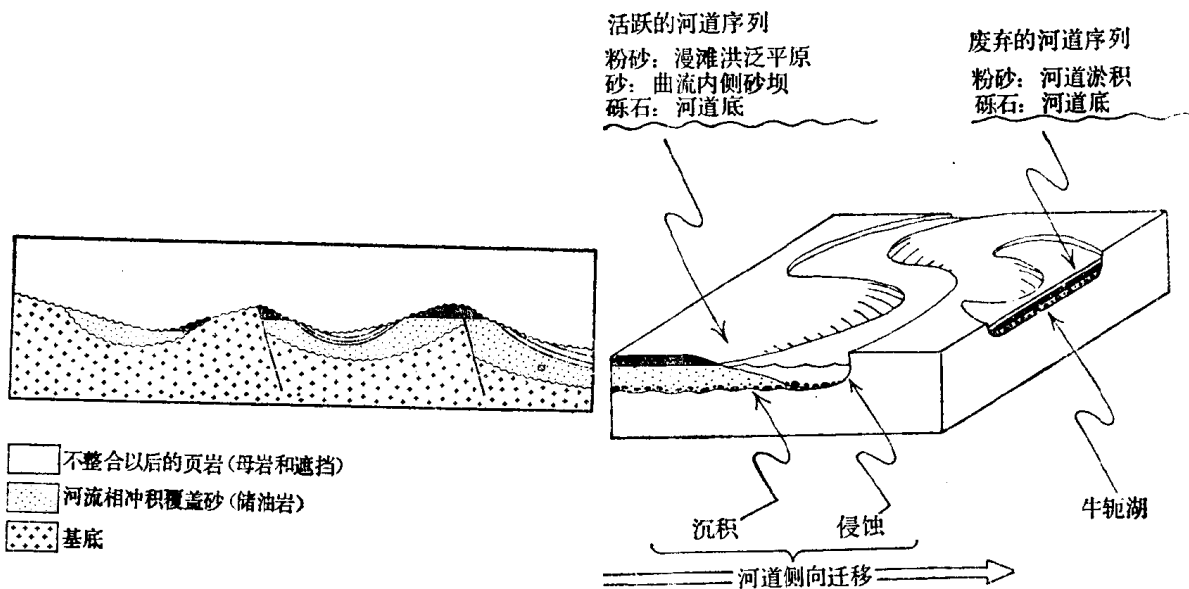


图 11 冲积层横剖面, 展示了黑色页岩和不整合面

图 12 曲流河沉积的冲积亚相的成因