

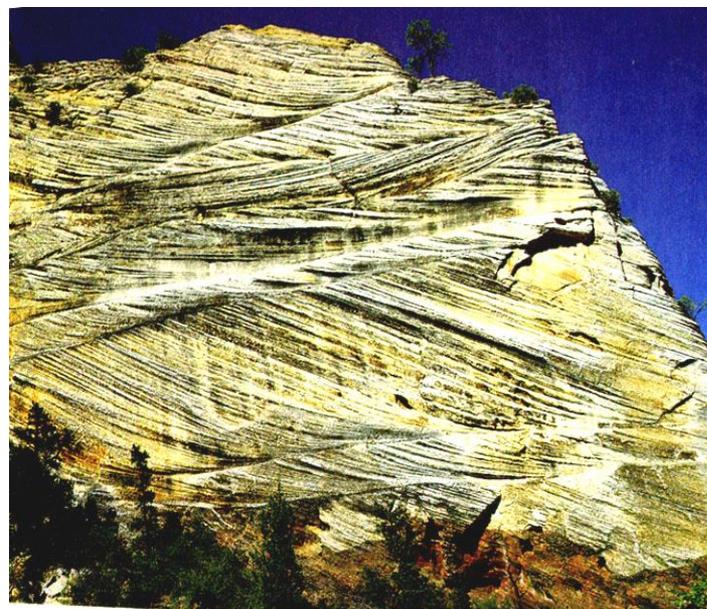
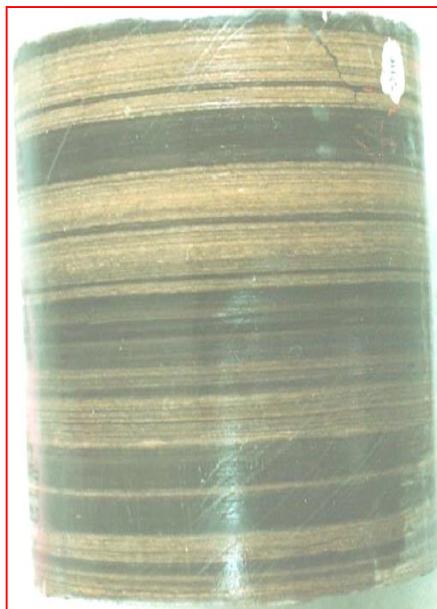
第五章 碎屑岩的构造和颜色

- 第一节 沉积构造的分类
- 第二节 层理
- 第三节 层面构造
- 第四节 变形构造
- 第五节 化学成因构造
- 第六节 生物成因构造
- 第七节 碎屑岩的颜色

第一节 沉积构造的分类

一、概念

- **岩石的构造**：指岩石各组成部分的空间分布和排列方式。
- **沉积岩的构造（沉积构造）**：沉积物沉积时或沉积之后，由于物理作用、化学作用及生物作用形成的各种构造。



第一节 沉积构造的分类

二、分类

■ 按沉积构造的形成时间

- **原生构造**：在沉积物沉积过程中和沉积物固结成岩之前形成的构造，如层理、波痕、滑塌构造等；
- **次生构造**：在沉积物沉积或固结成岩之后形成的构造，如负荷构造、包卷层理、成岩结核、缝合线构造等。

● 按成因—形态分类

■ 机械成因/物理成因构造

- **流动成因构造**—沉积物在搬运和沉积时，由于介质（如水、空气）的流动，在沉积物内部或表面形成的构造。
- **同生变形构造**—沉积物处于塑性状态下发生的变形所形成的构造。
- **生物成因构造**——沉积物沉积过程中由生物作用形成的构造。
- **化学成因构造**——多为成岩作用的产物。

第一节 沉积构造的分类

沉积构造主要有两种分类方案，一是构造形态分类，另一种是构造成因分类。采用构造形态结合成因分类，大类按成因划分，次一级按形态分类。

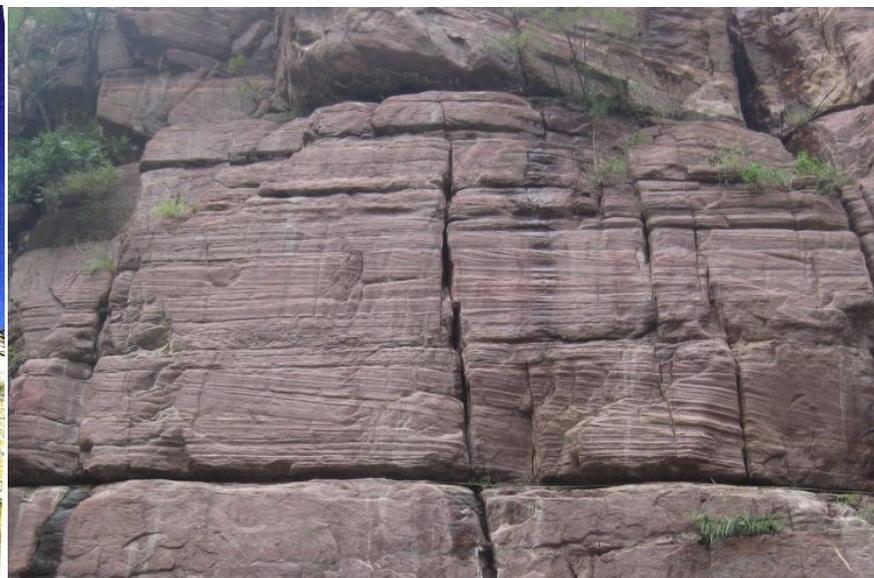
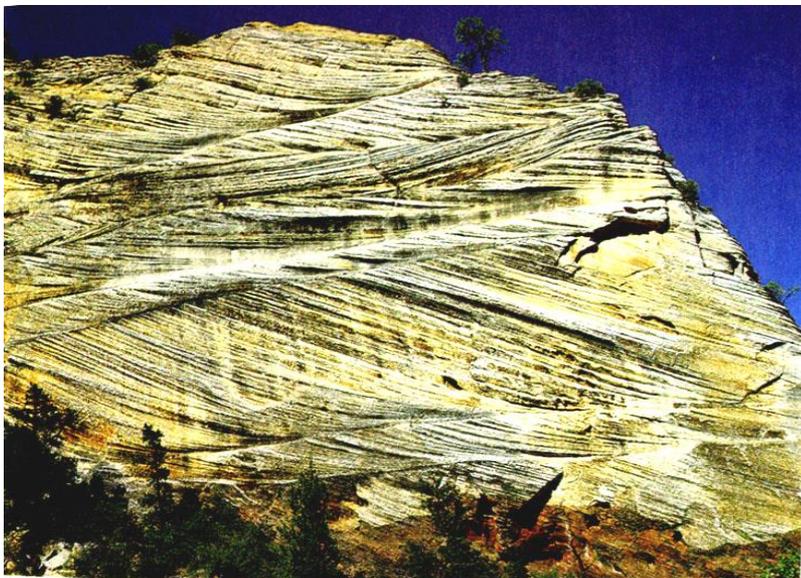
沉积构造分类表

物理成因构造		化学成因构造	生物成因构造	其他成因构造
流动成因构造	同生变形构造	暴露成因构造		
1. 层理构造 水平层理 平行层理 交错层理 波状层理 韵律层理 粒序层理 块状层理	重荷模构造 包卷构造 砂球和砂枕构造 碟状构造 柱状构造 滑塌构造	干裂 雨痕 冰雹痕 泡沫痕 流痕	结核 缝合线 碟锥 晶体印痕 成岩层理	生物遗迹构造 鸟眼构造 示顶底构造
2. 层面构造 波痕构造 剥离线理构造 侵蚀模 - 槽模				
3. 其它 冲刷充填构造 侵蚀面构造				

第二节 层理

一、基本术语

- ◆ 1、**层理**：岩石性质沿垂向变化而产生的层状构造，可通过沉积物的成分、结构、颜色、层厚、形状、排列或填集方式的突变或渐变而显现出来。



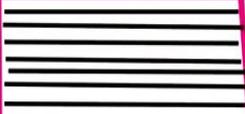
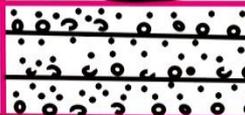
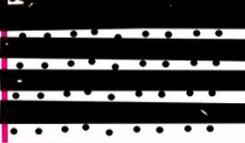
➤ 第二节 层理

一、基本术语

■ 2、层理要素：纹层、层系、层系组

◆ (1) 纹层（细层，laminae）

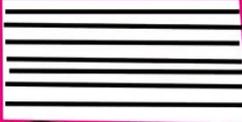
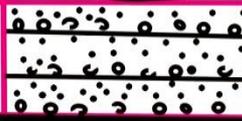
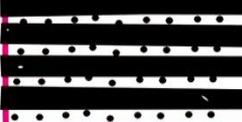
- 组成层理的最小宏观单位
- 厚度极小，常以毫米至数厘米
- 具有较均匀的成分和结构，可有粒度变化
- 同一纹层在相同水动力条件下同时形成

层理类型	序号	层理形态	层系	层组
水平层理	1			
波状层理	2			
交错层理	3			纹层
	4			
	5			
递变层理	6			
透镜状层理	7			
韵律层理	8			

第二节 层理

(2) 层系 (单层, a single bed)

- 多个成分、结构、厚度和产状近似的纹层组成
- 相邻层系由层系界面分开
- 层系内成分和结构可以一致或均匀，也可呈现韵律变化或有规律变化。单层厚度一般从数毫米~数米。
- 一段时间内同一环境中水动力条件**基本稳定**

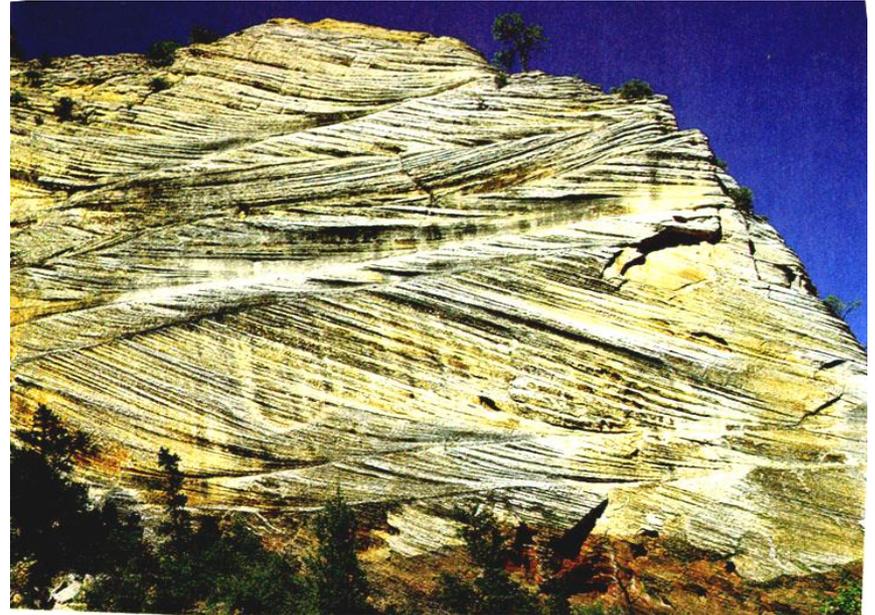
层理类型	序号	层理形态	层系	层组
水平层理	1			
波状层理	2			
交错层理	板状	3	纹层	
	楔状	4		
	槽状	5		
递变层理	6			
透镜状层理	7			
韵律层理	8			

➤ 第二节 层理

■ 按层系厚度划分层理

规模

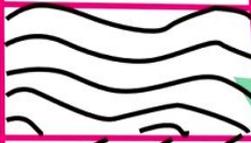
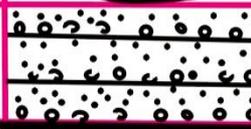
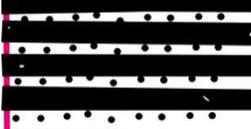
- 特大型 >200cm
- 大型 10~200cm
- 中型 10~3cm
- 小型 <3cm



➤ 第二节 层理

(3) 层系组（也称层组）

- 由两个或两个以上岩性相似或成因有联系的层系组成
- 在同一环境、不同时间、相似水动力条件下形成
- 内部没有明显的沉积间断。
- 例如，由厚度不等的板状、楔状层系组成的层系组。

层理类型	序号	层理形态	层系	层组
水平层理	1			
波状层理	2			
交错层理	板状	3		纹层
	楔状	4		
	槽状	5		
递变层理	6			
透镜状层理	7			
韵律层理	8			

第二节 层理

◆ 3、层

- 在基本稳定的介质条件下沉积的一个单元，由成分上基本一致的沉积物组成。
- 组成沉积地层的基本单位、有清晰的顶底界面（层面）
- 层面代表了无沉积或沉积作用突然变化的间断面。
- 一个层可以包括一个或若干个纹层、层系或层系组
- 层按厚度划分：
 - 块状 >1m
 - 厚层 1~0.5m
 - 中层 0.5 ~0.1m
 - 薄层 0.1~0.01m
 - 页状层 <0.01m



二、层理分类及主要类型

■ 按照层内组分和结构的性质：

- 均质层理
- 非均质层理
- 递变（韵律）层理
- 粒序层理

■ 非均质层理：
按细层的形态与层系界面的关系：

- 水平（平行）层理
- 交错层理
- 潮汐层理

第二节 层理

◆ (一) 水平层理和平行层理

◆ 水平层理:

- ◆ 纹层呈直线状互相平行，并且平行于层面
- ◆ 在比较稳定的水动力条件下，悬浮物质以比较慢的速率沉积形成。



水平层理

◆ 平行层理:

- ◆ 主要由平行而又几乎水平的纹层状砂和细砂组成，纹层厚度毫米级到厘米级；
- ◆ 是在平坦底床上连续滚动的砂粒产生粗细分离而显现的平行纹层
- ◆ 较强水动力条件下流动水作用的产物



平行层理

第二节 层理

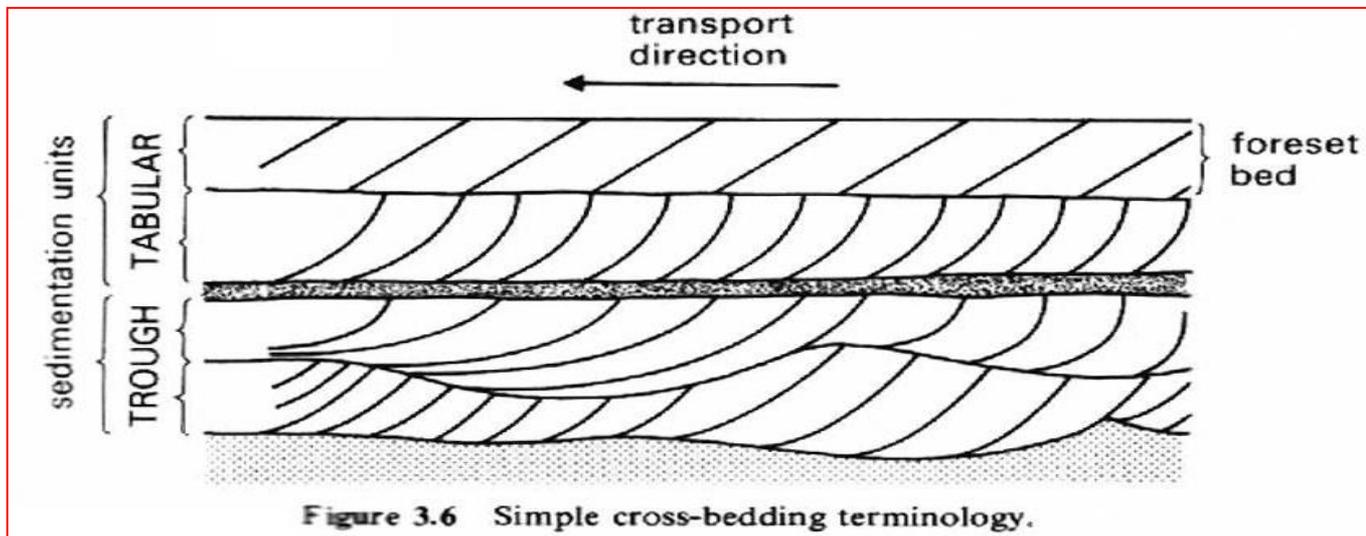
水平、平行层理的异同点

	水平层理 (horizontal lamination)	平行层理 (parallel bedding)
共同特点	纹层呈直线状互相平行，并且平行于层面	
水动力条件	低能静水， $Fr \ll 1$	高能急流， $Fr > 1$
岩性	细粒（粉砂岩、泥岩、灰岩）	较粗粒（中、细砂岩）
环境	深水或沼泽、泻湖等浅水	滨浅水：湖岸、海滩 河道、浊积岩
其它	层理通过粒度变化、重矿物富集或有机质含量不同等显现	纹层厚1~2mm，常与大型交错层理共生

第二节 层理

◆ (二) 交错层理

- 由一系列与层系界面斜交的纹层（前积层）组成，层系可以彼此平行、交错、切割，组成不同形态的交错层理。
- 交错层理是沉积介质（流水与风等）的流动造成的。
- 当介质有一定流速时，底床上可以产生一系列的沙波，沙波移动时，在陡坡一侧形成了由一系列纹层组成的斜层系，纹层倾向代表了介质流动方向。



第二节 层理

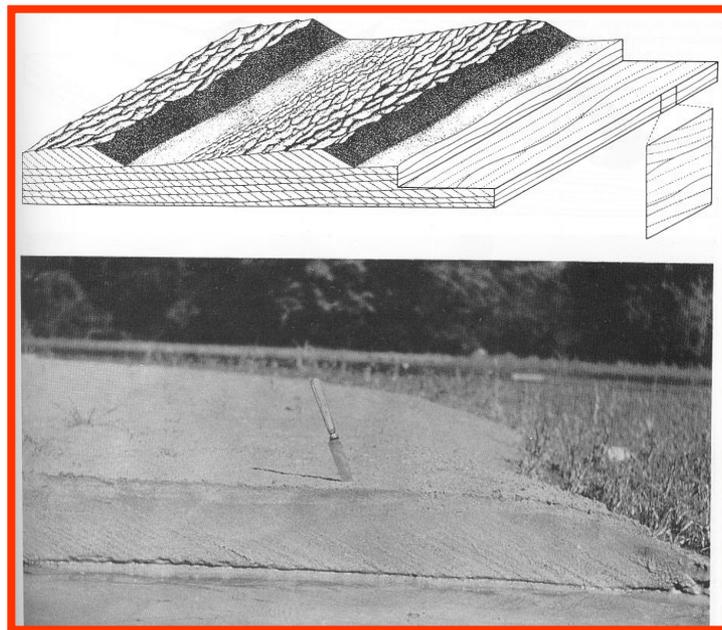
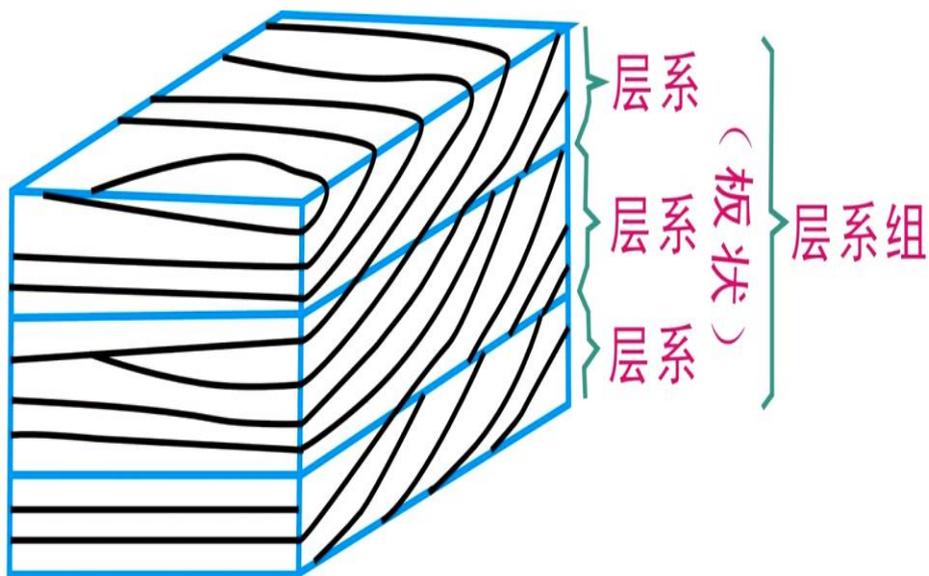
- 交错层理/斜层理按成因可分为：
 - 流水成因
 - 波浪成因
 - 潮汐成因
 - 风成成因

第二节 层理

1、流水成因交错层理

(1) 板状交错层理

- 层系界面为平面而且彼此平行，层系呈板状；
- 层系底界有冲刷面；
- 纹层平直或向上弯曲，内常有下粗上细的粒度变化。
- 前积纹层在平行于流动方向的剖面上与层系界面斜交；
- 垂直水流方向，纹层呈平行或波状；



第二节 层理



张家界温塘志留系剖面下统辣子壳组板状斜层理

第二节 层理

板状交错层理

- 按纹层与层系底界的倾角和斜交特征可以反映水流强度
 - a) 急流型：纹层平直，倾角大，水流强；
 - b) 缓流型：纹层略向上弯曲，向下收敛，倾角小， $15\sim 30^\circ$ ，判断岩层的顶底，即产状。
- 出现环境
 - 河流、滨湖、滨海、三角洲沉积。
 - 大型板状交错层理在河流沉积中最为典型。



急流型



缓流型

第二节 层理

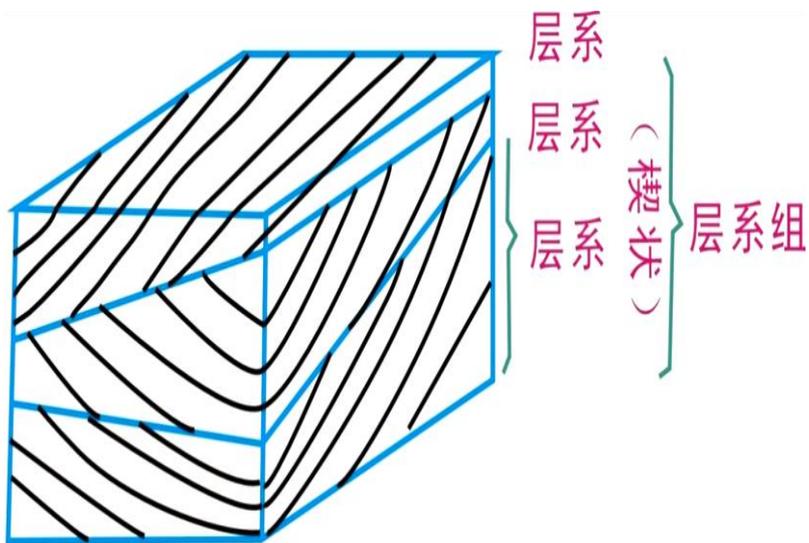
(2) 楔状交错层理

■ 特点

- 层系界面为平面，但不平行，常彼此切割；
- 层系厚度变化明显呈楔形；
- 纹层倾角和倾向变化不定，纹层与层系界面斜交。

■ 出现环境

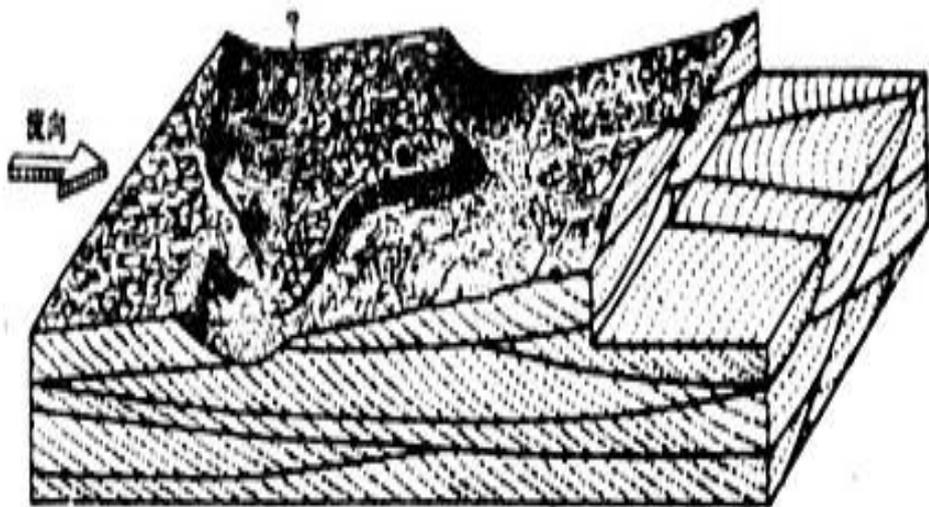
- 海、湖浅水地带和三角洲地区



第二节 层理

(3) 槽状交错层理

- 层系底界为槽形冲刷面，纹层在顶部被切割。
- 横切面，层系界面和纹层都是槽形；
- 纵剖面，层系界面呈弧形，纹层与之斜交。
- 顶面俯视，层系界面和纹层为重叠的花瓣状。
- 大型槽状交错层理层系底界冲刷面明显，底部常有泥砾。
- 出现环境：多见于河流。
- 判断古流向。

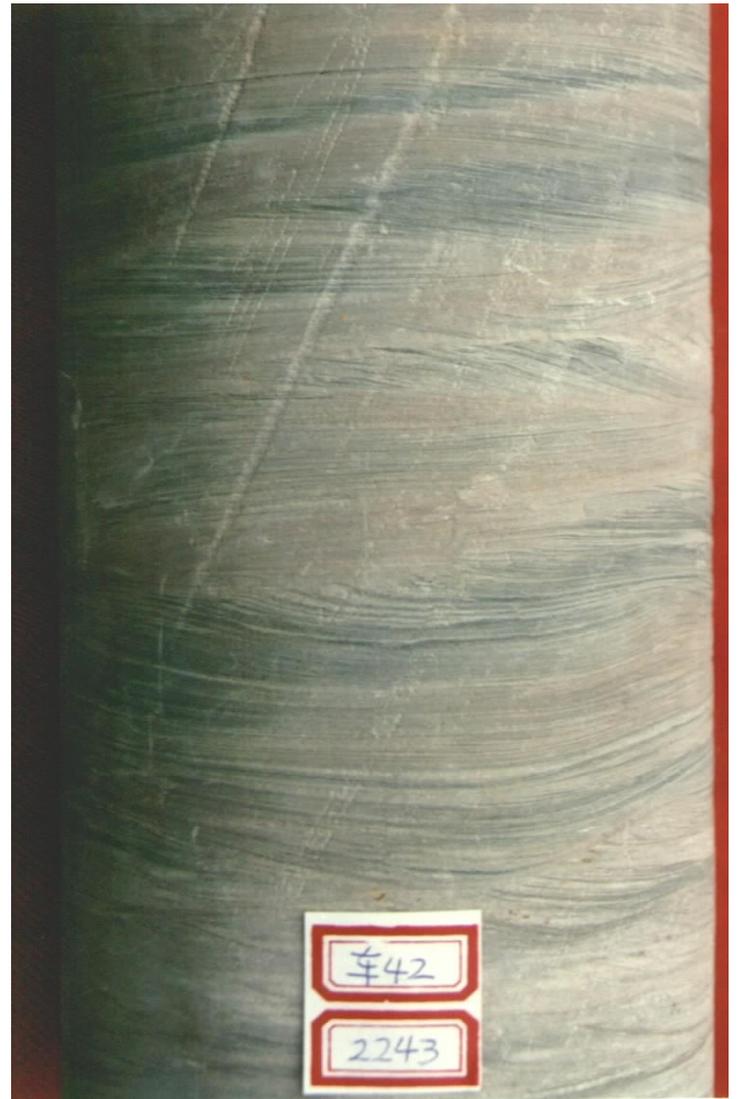


第二节 层理

(4) 其他流水成因的交错层理

① 流水沙纹层理

- 形成介质的水动力能量小，
 $Fr \ll 1$ ；
- 层理的规模小，多见粉砂中
- 水介质较浅，海湖浅水地带、
河漫滩、海湾、泻湖等
- 介质中悬浮载荷和推移载荷丰
度不同，呈现出不同的形态特
征

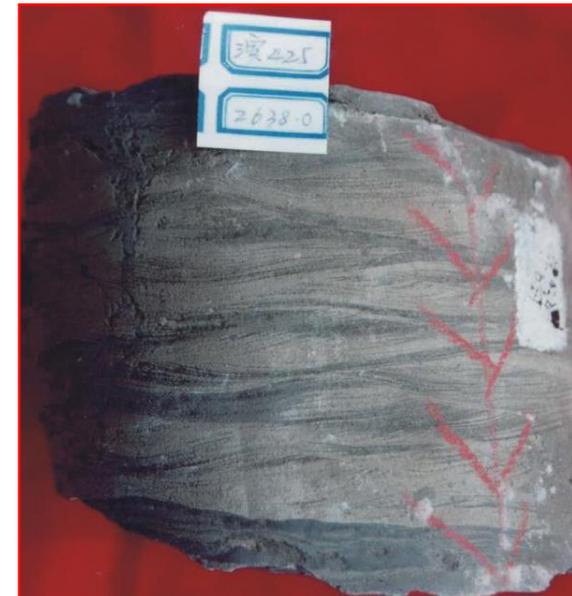
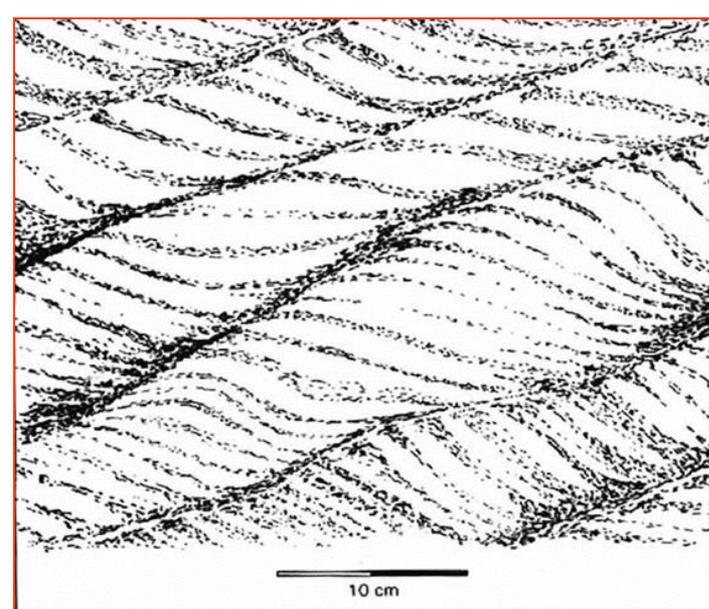


沙纹交错层理

第二节 层理

② 上攀/爬升层理

- 纹层呈波状或S形
- 纹层之间近于平行
- 层系界面近于平直或波状
- 纹层与上层系界面相交、与下层系界面相切



第二节 层理

2、波浪成因的交错层理

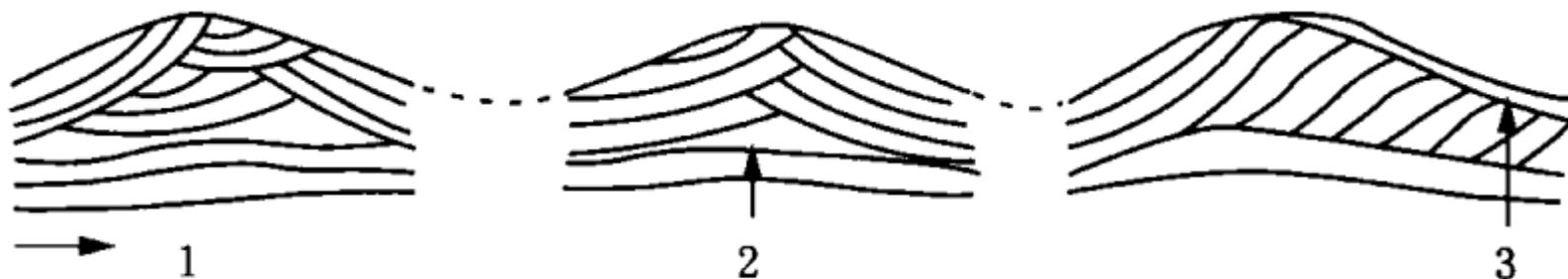
(1) 浪成波纹交错层理

■ 特点：

- 层系常呈人字形构造或收敛束状，相邻层系界面倾向相反。
- 前积层可通过波谷达到相邻沙纹的翼部；
- 有时前积纹层单向倾斜，层系界面呈缓波状，其上有泥质纹层覆盖。

■ 成因：浪成沙纹迁移形成，向岸浪、离岸浪的作用。

■ 出现环境：海湖滨岸、陆棚和泻湖等浅水环境。

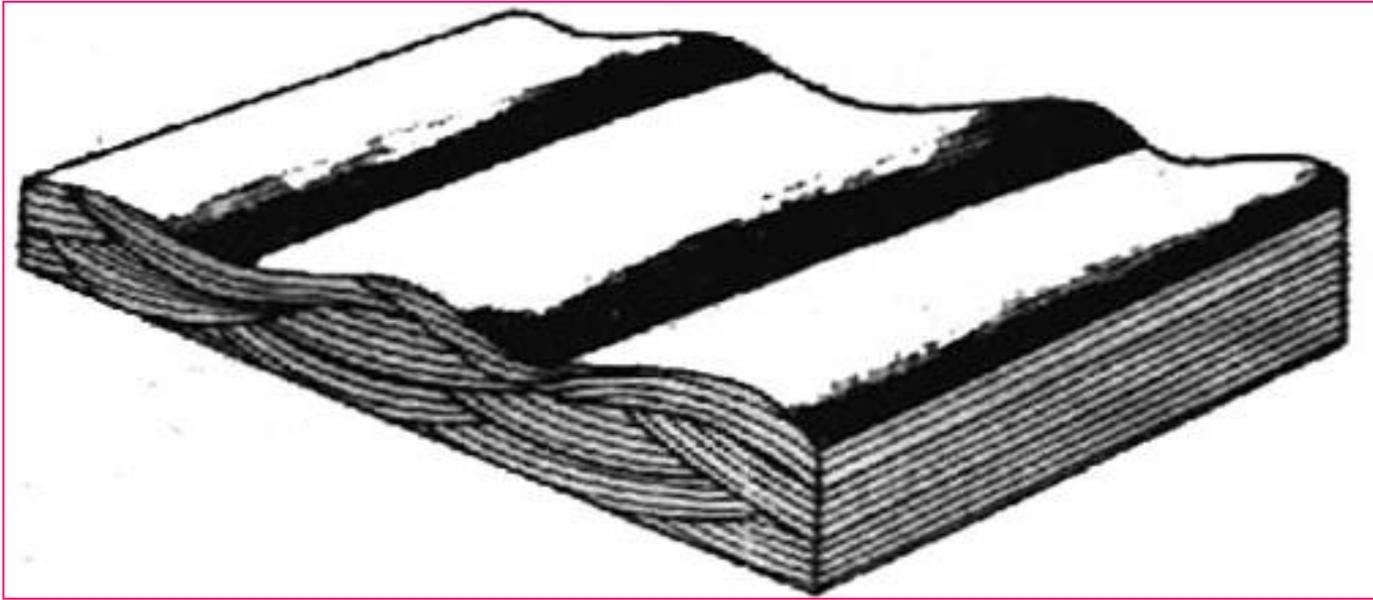


(a) 束状上部纹层

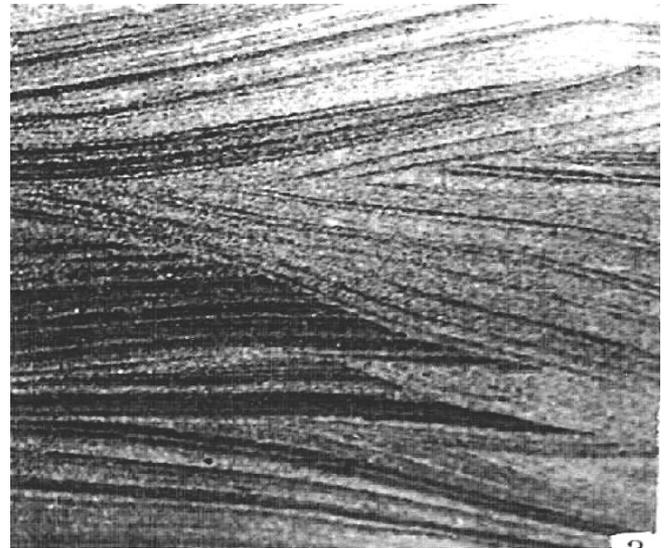
(b) 人字形上部纹层

(c) 单向纹层

第二节 层理



浪成波痕的迁移形成交错层理示意图



第二节 层理

2、浪成成因的交错层理

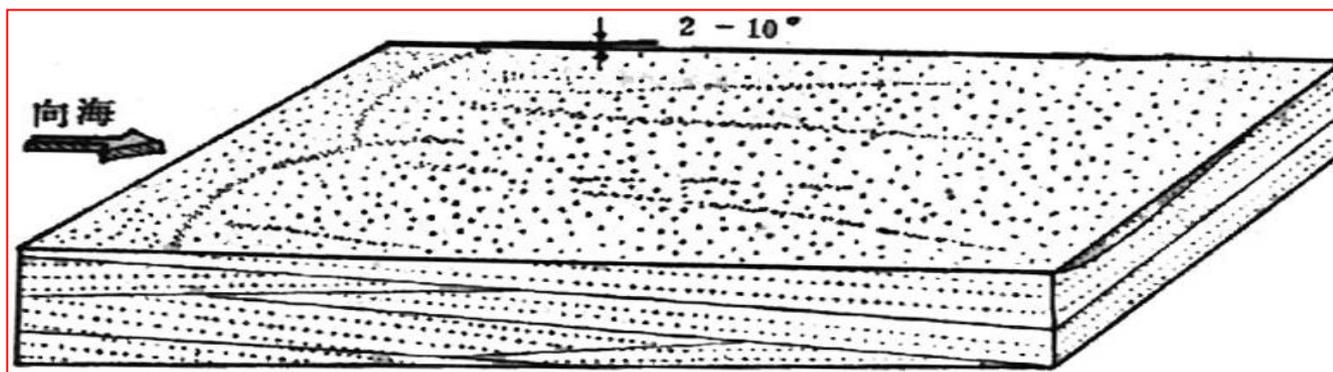
(2) 冲洗交错层理—低角度交错层理

■ 特点：

- 纹层和层系界面平直，延伸范围广（可达数十米）；
- 纹层向海和向陆两个方向倾斜；
- 纹层内沙粒成熟度高，可有粒序变化。
- 层系以楔状低角度相交， $2\sim 10^\circ$ ，层系厚度稳定，层系顶部被切蚀而底部完整；

■ 出现环境：后滨-前滨带及沿岸砂坝沉积。

■ 成因：波浪向岸传播，产生的向岸或离岸往复冲洗作用成因。



第二节 层理



冲洗交错层理

第二节 层理

2、浪成成因的交错层理

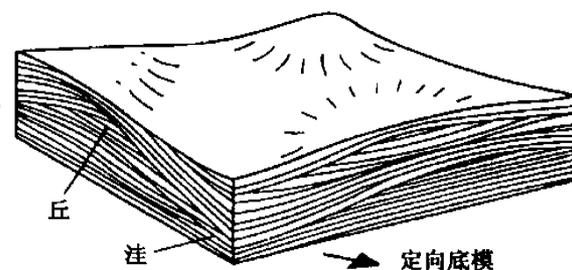
(3) 丘状交错层理和洼状交错层理

丘状：宽缓波状层系组成，外形呈圆丘状，向四周倾斜，层系上部被侵蚀，纹层与层系底界近平行，与顶界面相交。

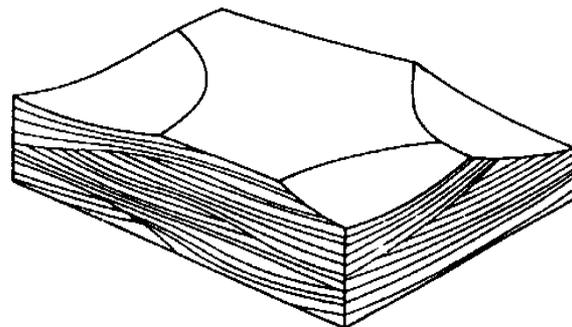
洼状：下洼波状层系，纹层与浅洼坑底界面平行。

丘状和洼状常伴生，高20~50cm，纹层倾角 $<15^\circ$ 。

环境：在正常浪底以下由风暴浪的震荡作用形成。



(a) 丘状交错层理(波长0.5~5m)



(b) 洼状交错层理

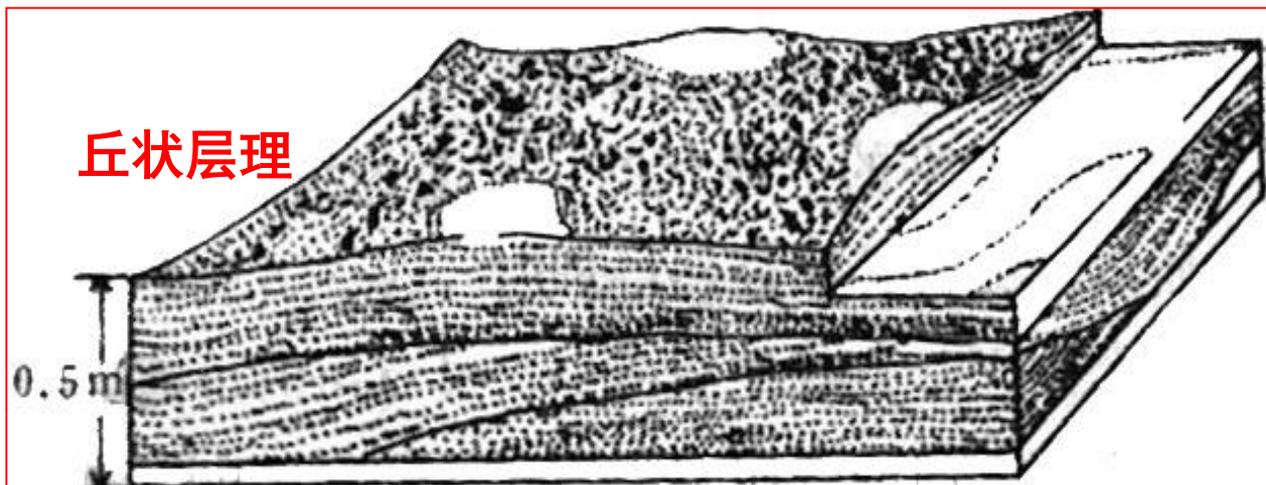
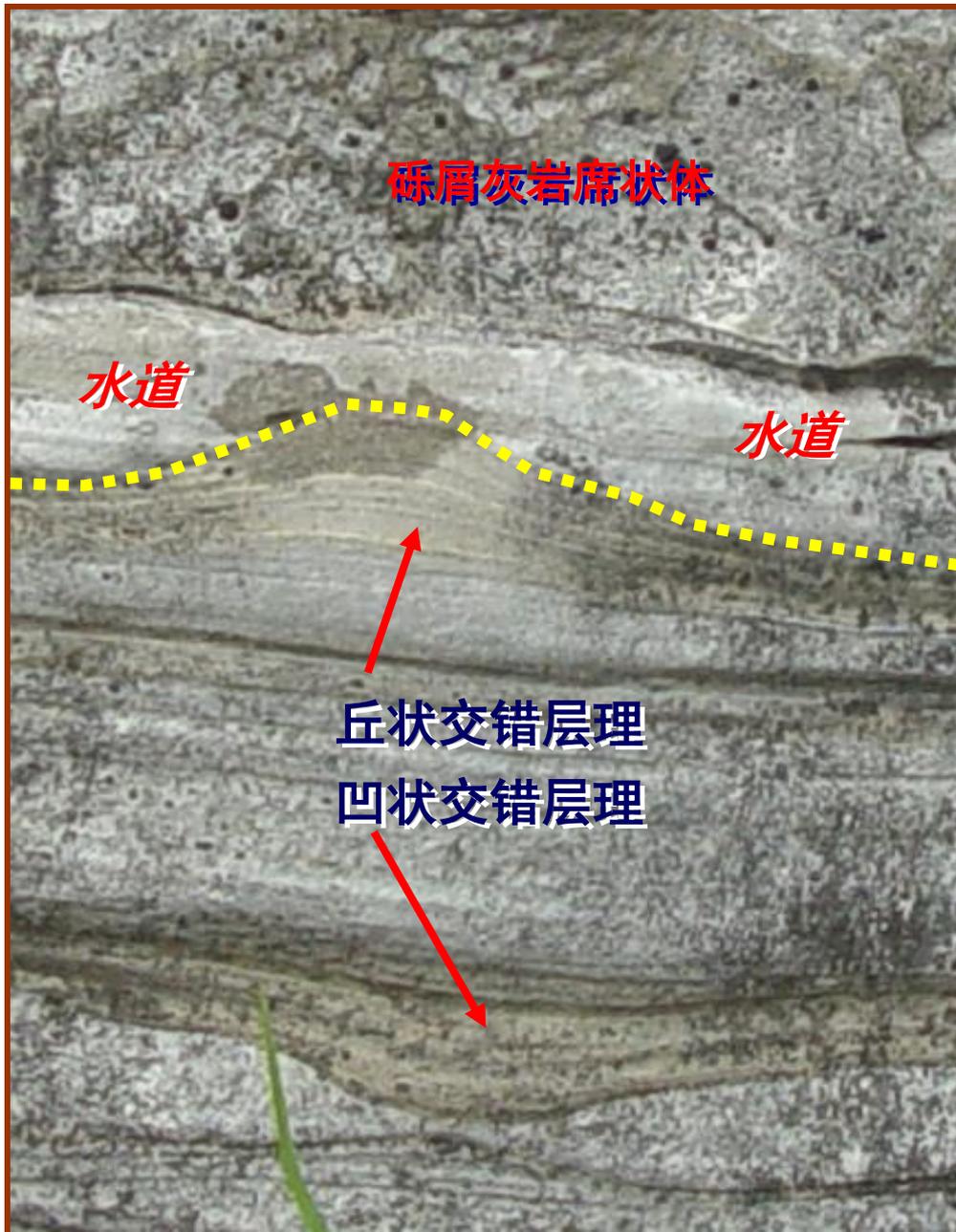


图 3-48 丘状交错层理和洼状交错层理

第二节 层理



丘状交错层理是由一些大的宽缓波状层系组成，外形上象隆起的圆丘状，向四周缓倾斜，丘高为20~50cm，宽为1~5m；底部与下伏泥质层呈侵蚀接触，顶面有时可见到小型的浪成对称波痕；层系的底界面曾被侵蚀，细层平行于层系底界面，它们的倾向呈幅射状，倾角一般小于 15° ；在一个层系内，横向上有规则地变厚，因此，在垂直断面上它们象“扇形”，倾角有规则地减小；层系之间以低角度的截切浪成纹层分开。

第二节 层理

3、潮汐成因的交错层理（羽状交错层理）

纹层平直或微向上弯曲，层系界面平直；

相邻斜层系纹层倾向相反，在层系界面处锐角相交，形态呈羽毛状或鱼骨状。

涨潮流形成的前积层与退潮流形成的前积层交互而成——反向水流
常见于潮汐环境的潮间带下部及潮汐通道。



第二节 层理

涨潮流形成的前积层与退潮流形成的前积层交互形成，在层面上层系互相叠置，相邻层系的细层倾向相反呈羽毛状或人字形，层系间夹有薄的水平层。



石灰沟上石炭统



新汶下寒武统毛庄组

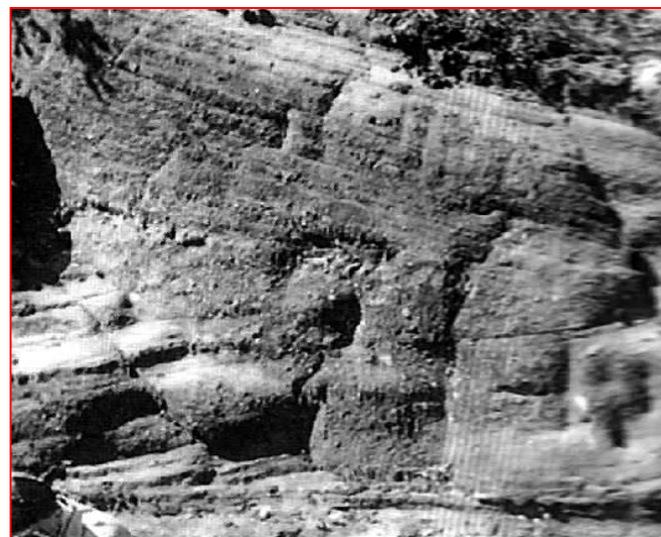
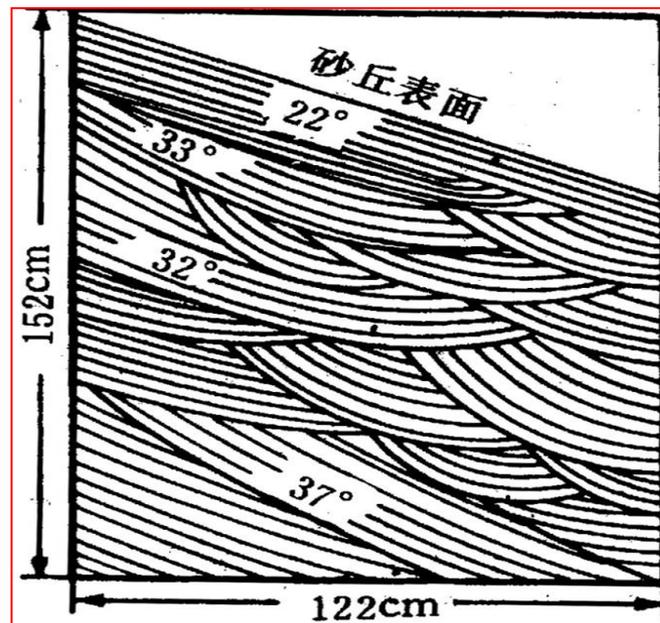


新汶下寒武统毛庄组

第二节 层理

4、风成交错层理

- 在风的吹扬作用下形成。
- 特点：
 - 无泥质物；
 - 砂粒磨圆和分选较好；
 - 常呈板状、槽状交错层理；
 - 层系厚度大，几十cm到数m；
 - 前积纹层倾角高达 $25\sim 34^\circ$ 。
- 出现环境
 - 沙漠及海滩风成沙丘带。



第二节 层理

(三) 过渡性层理

是在沙泥沉积中的一种复合型层理，也称为潮汐层理，包括压扁层理、透镜状层理、波状复合层理

- 涨潮、退潮期，水流活动

 - 砂呈波状被搬运沉积，泥呈悬浮状态；

- 潮间期，水流停滞

 - 悬浮的泥发生沉积。

- 主要出现在潮间带及其附近

第二节 层理

压扁层理

又叫脉状层理

波浪作用强

砂多泥少

波谷及部分波脊上含有泥质条带（脉状体）的沙纹层理。

透镜状层理

潮汐或波浪作用较弱，停滞水作用时期较长；

砂少泥多；

在泥基质中夹有砂质透镜体；

波状复合层理

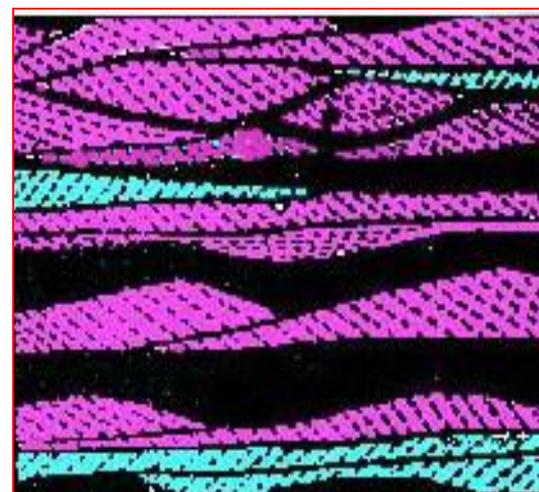
砂泥均等、间互；

纹层呈对称或不对称的波状；

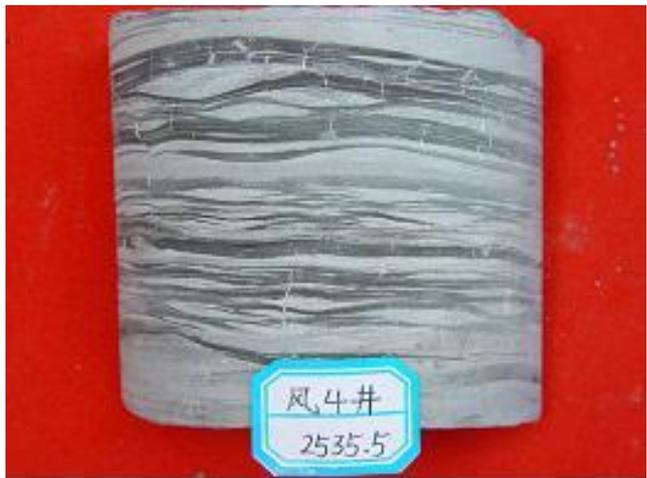
较强或较弱的水动力条件交替；



Figure 3.5 Flaser bedding: A, formed from current ripples; B, formed from oscillation ripples. The discrete mud lenses (black) in A and the sand-silt lenses in B often appear to 'float' and are referred to as 'biscuits'.



第二节 层理



③透镜像层理



②波状层理



①压扁层理

第二节 层理

(四) 递变层理、粒序层理

■ 特点：

- 沉积物粒度发生垂向递变，无内部纹层。
- 单层内，由底到顶，粒度由粗变细者为正粒序；由细变粗者为逆粒序。
- 正粒序，底部常有冲刷面；
- 单层厚度从数mm到1m或数m。

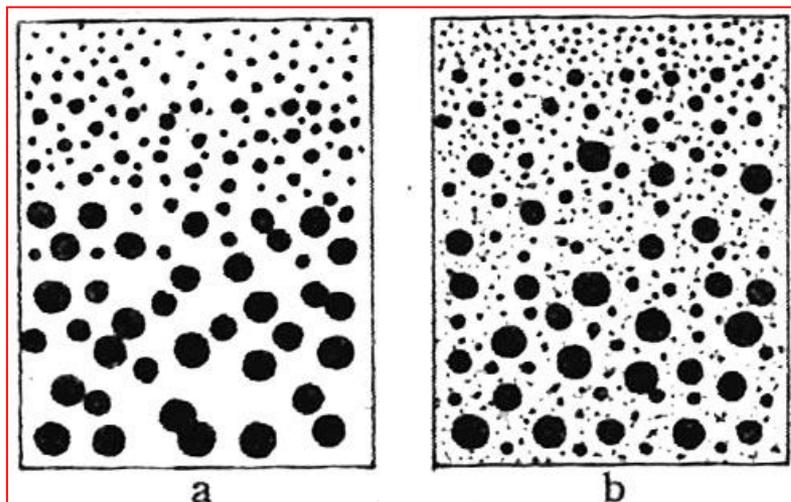
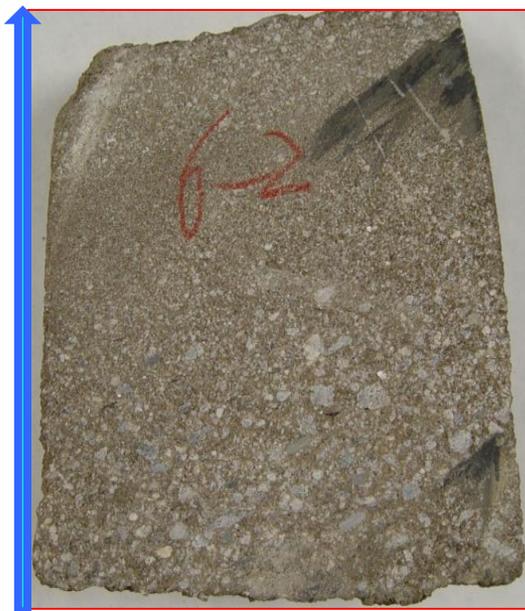


图 4-9 递变层理的两种基本类型
(据 H.E.赖内克等, 1973)



湖底扇，正粒序
(利83井，3028.8m)

第二节 层理

成因：正粒序—重力流沉积的特征性层理

◆ 流动强度减小，流水携带能力减弱，悬浮搬运的沉积物按粒度大小依次先后沉降。

◆ 逆粒序：岩性粗—重力流沉积，能量逐渐增强

岩性细—波浪淘洗，能量逐渐增强



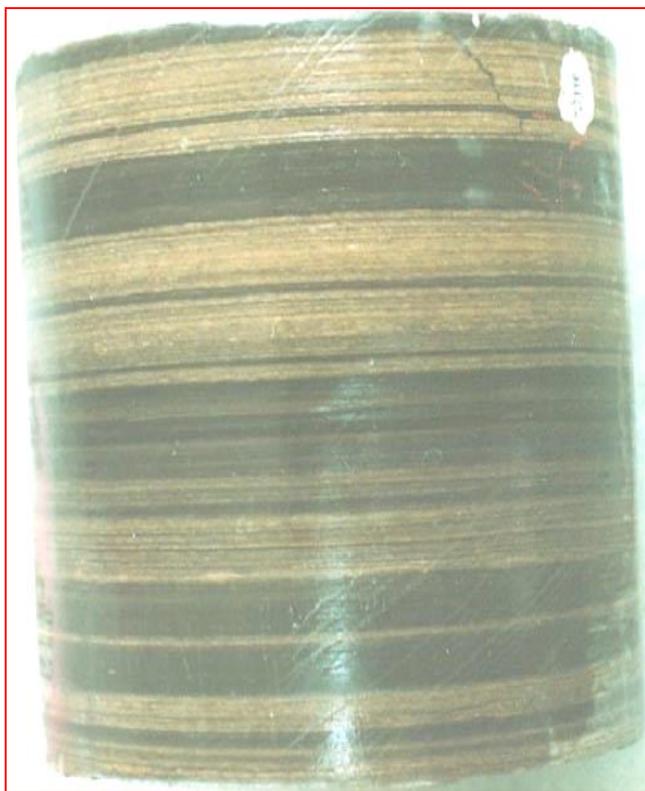
江西崇义过埠水平层理（上寒武统）

第二节 层理

■ (五) 韵律层理

■ 成分、结构或颜色等性质不同的薄层有规律重复出现。

■ 纹层厚度数mm到数十cm，层与层平行或近于平行。



a. 钙片页岩, 莱110井, 2796. 6m;

第二节 层理

(五) 韵律层理

■ 成因

■ 物质搬运或产生方式有规律地交替变化

■ 潮汐流的周期变化形成砂质纹层与泥质纹层重复交替。

■ 潮汐韵律层理，也称砂泥互层层理；

■ 气候的季节性变化

■ 形成浅色层与深色层互层的季节性韵律层理。

■ 冰川纹泥—浅色层（粗至细砂）、暗色层（悬浮细粒物质）。

第二节 层理

(六) 块状层理（均质层理）

层内成分、结构、颜色均匀，不具任何纹层构造。

粗、细粒沉积中均可出现。

成因：

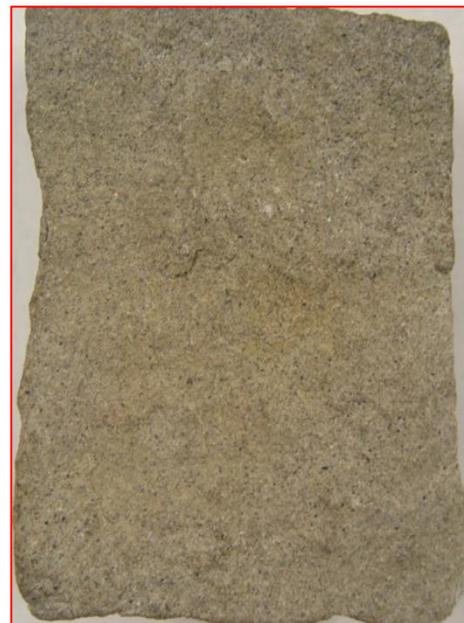
快速沉积

细粒悬浮物质：洪水沉积；

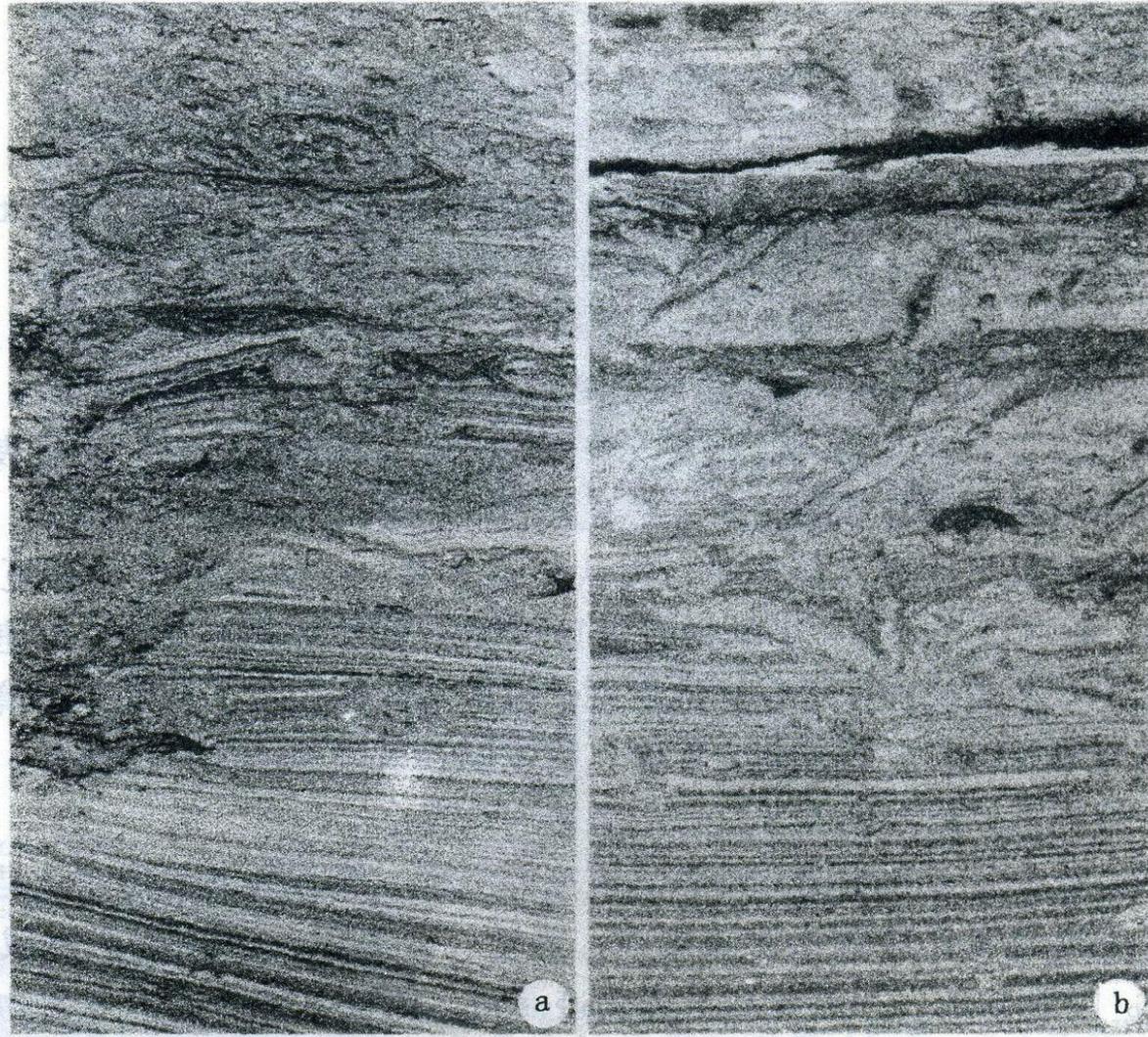
重力流沉积物：浊流沉积、泥石流沉积物。

生物扰动

滨浅海和三角洲相，原生层理被生物扰动完全破坏。



➤ 第二节 层理

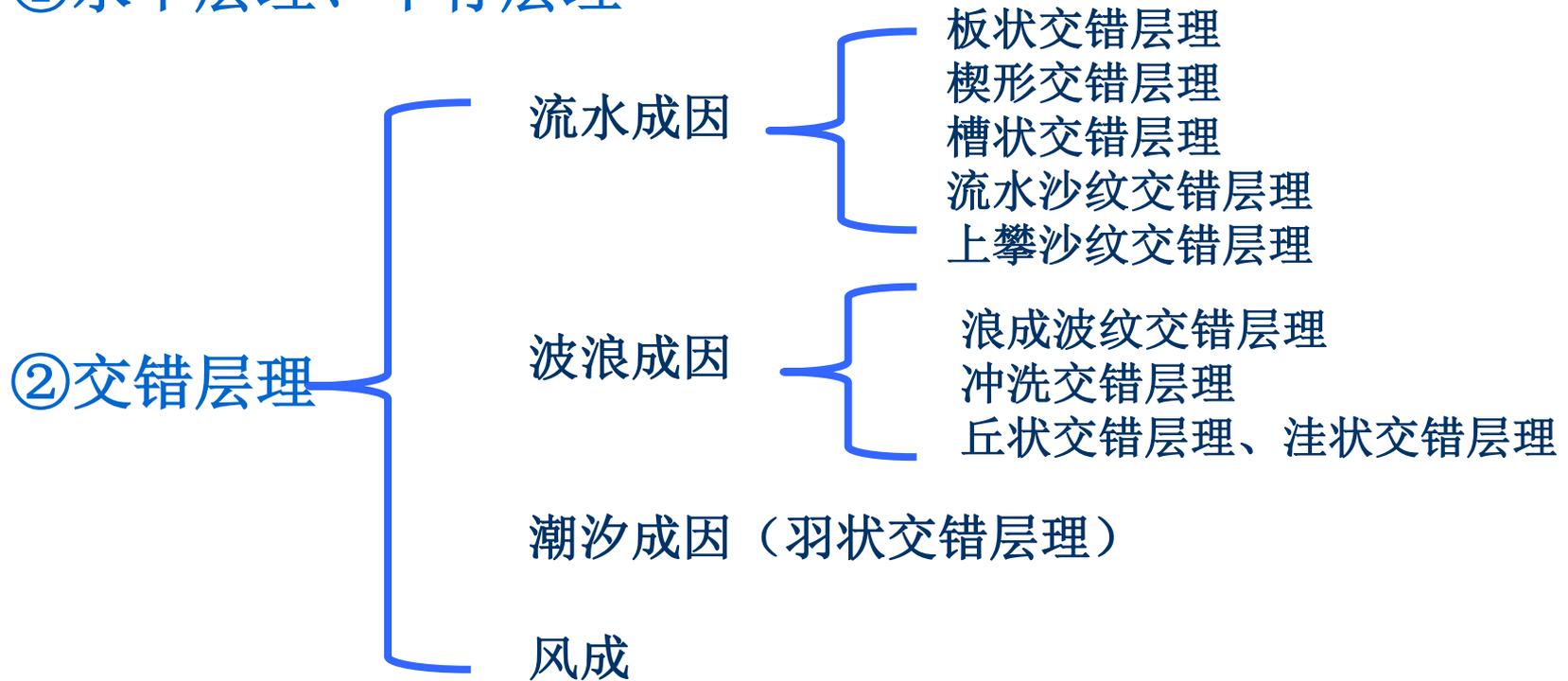


岩心观察中具层理砂岩的两个实例

层的顶部被生物扰动，产生了层理突然中止，原因是几个连续群落因平均时间效应而相互叠置；在（b）中可能代表了三个单元的混合。北海，挪威海外滨，侏罗系（×1）

层理的形态成因分类

①水平层理、平行层理



③过渡性层理（压扁层理、波状层理、透镜状层理）

④递变层理、粒序层理

⑤韵律层理

⑥块状层理

➤ 第二节 层理

三、流动体制、底床形态与层理形成的关系

(1) 基本概念

➤ 底形（床积物形态、床沙形体）

- 在河床或水槽中，流水沿非粘性沉积物（如砂、粉砂）的底床上流动时，在沉积物表面铸造的几何形态。
- 底床形态的出现有一定的规律性；它们的类型、大小、分布跟水流速度、水流强度、水流深度、颗粒大小等因素有关。

➤ 流态（流动体制）

- 反映底形与流动条件之间的关系。
- 直接标志是 $Fr = V^2 / (h \cdot g)$ ——水流强度。
 - $Fr > 1$ ：上部流动体制或高流态，水浅流急
 - $Fr = 1$ ，过渡流动体制或过度流态
 - $Fr < 1$ ，下部流动体制或低流态，水深流缓

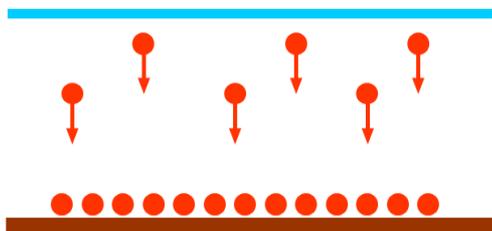
➤ 第二节 层理

三、流动体制、底床形态与层理形成的关系

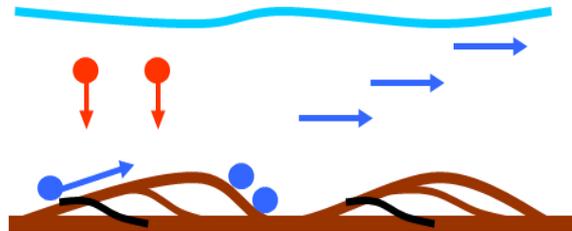
(2) 流态与层理之间的关系

- 水槽实验，最早由索尔贝 (sorby,1908)，吉尔伯特 (Gilbert, 1914) 进行研究，后来西蒙斯、理查森 (Simons and Richardson, 1961) 等总结了水槽实验资料，并建立流动条件与床沙形体的关系。

第二节 层理



无运动的平坦沙床:水平层理

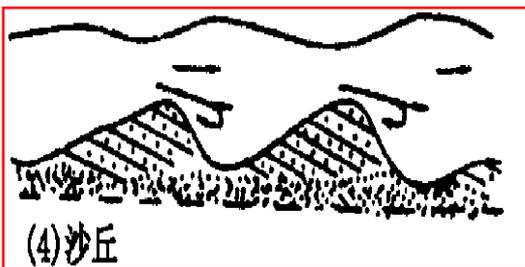


不对称沙纹:小型波状、沙纹、上攀层理



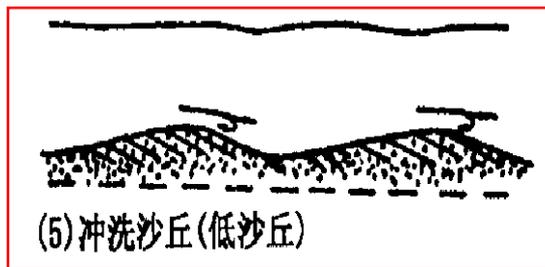
(3) 沙浪

沙浪:波脊平直, L/H大, 流速低, 直脊大波痕→板状、楔状交错层理;



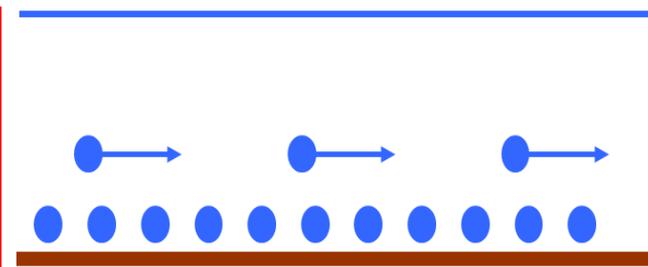
(4) 沙丘

沙丘:波脊弯曲, L/H小, 流速高, 曲脊大波痕→槽状交错层理。

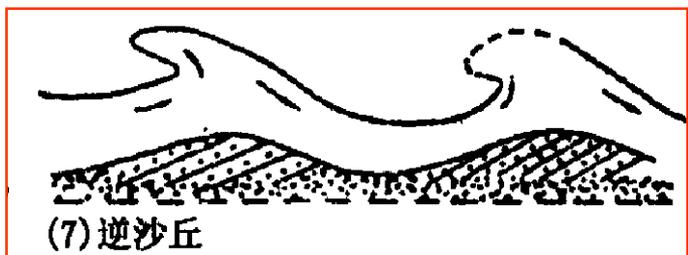


(5) 冲洗沙丘(低沙丘)

低角度的冲蚀沙丘:极不对称波痕-大型斜层理。

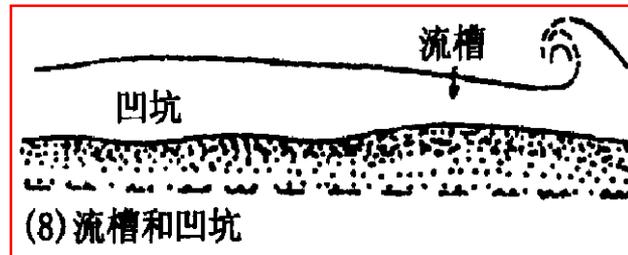


运动的平坦底床:平行层理



(7) 逆沙丘

逆行沙丘:逆行沙丘交错层理, 斜层系倾向指示介质上游。



(8) 流槽和凹坑

流槽和凹坑:槽状充填交错层理

➤ 第二节 层理

■ 流态与层理、波痕之间的关系



波痕是被保留下来的床沙形体；

层理是床沙形体迁移过程中沉积层内部留下的痕迹。

第二节 层理

四、层理的意义及其研究方法

- 1) 确定地层顶底，正确划分对比地层，恢复地层正常产状；
 - A. 交错层理纹层向下收敛
 - B. 大型纹层下部常富集粗碎屑物质
- 2) 交错层理可确定古水流方向、强度和水深等；
 - A. 前积纹层
 - B. 层系厚度与层理形成时的沙波高度大体相当，一般不超过河流水深的 $1/6$ 。
- 3) 最可靠的沉积相标志，分析沉积环境，确定沉积相类型

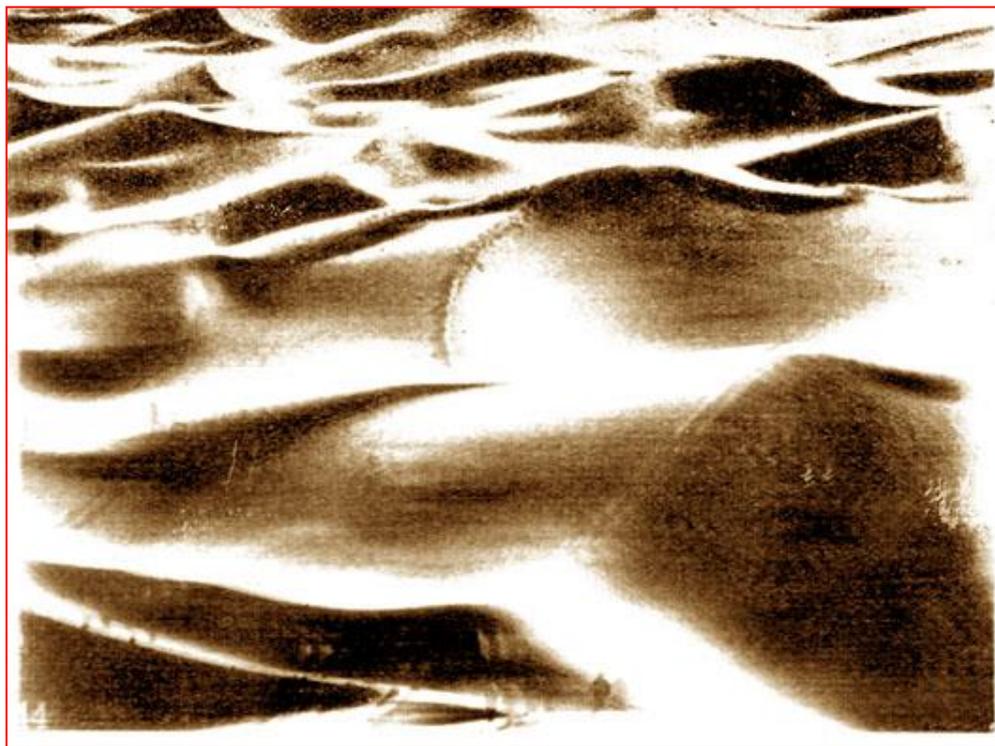
第三节 层面构造

- ◆ 概念：在岩层表面呈现出的各种不平坦的沉积构造的痕迹。
- ◆ 按保存位置分为两类：
 - 顶面构造
 - 波痕、剥离线理、干裂、雨痕等；
 - 底面构造
 - 槽模、沟模等。
- 按成因分为两类：
 - 流动成因
 - 暴露成因。

第三节 层面构造

一、波痕

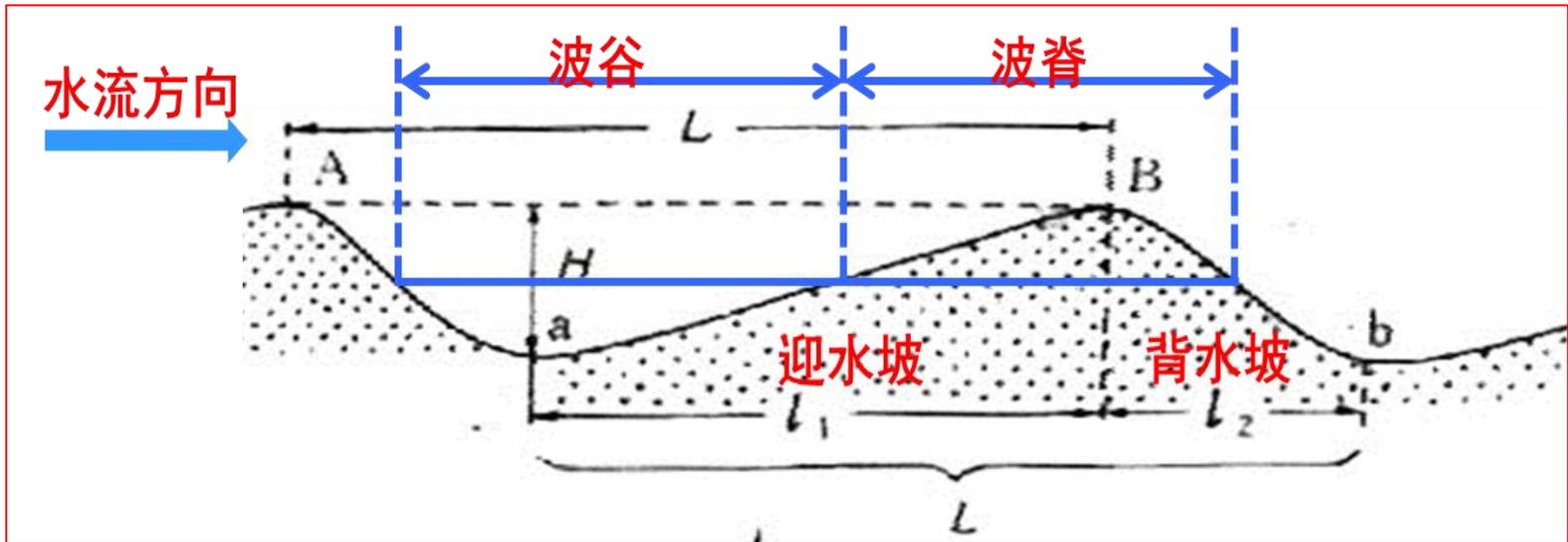
1、概念：由于风、水流或波浪等介质的运动，在非粘性沉积物（主要是松散砂）表面形成的一种波状起伏的层面构造，也称为波纹或沙纹。



第三节 层面构造

2、波痕要素

- a. 波长 (L)：垂直于两个相邻波峰之间的水平距离。
- b. 波高 (H)：波痕谷底至脊顶的垂直距离。
- c. 波痕指数 (L/H)：波长与波高比值→波痕相对高度和起伏。
- d. 波痕不对称指数 (l_1/l_2)：表示波痕不对称程度。
- e. 波谷 (或槽)：小于1/2波高下凹部分。
- f. 波脊：大于1/2波高上凸部分。
- g. 脊顶 (或波峰)：波痕垂直剖面上的最高点。

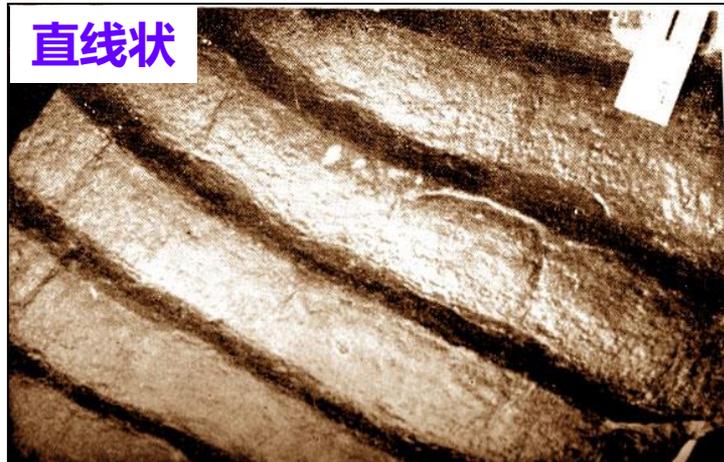


3、波痕类型及特征

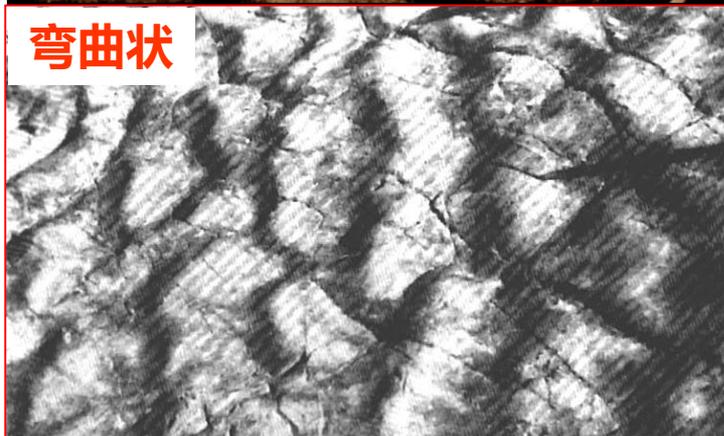
按波脊形态

- 直线状
- 弯曲状
- 链条状
- 舌状（脊向背水方向弯曲）
- 新月状（脊向迎水方向弯曲）

直线状



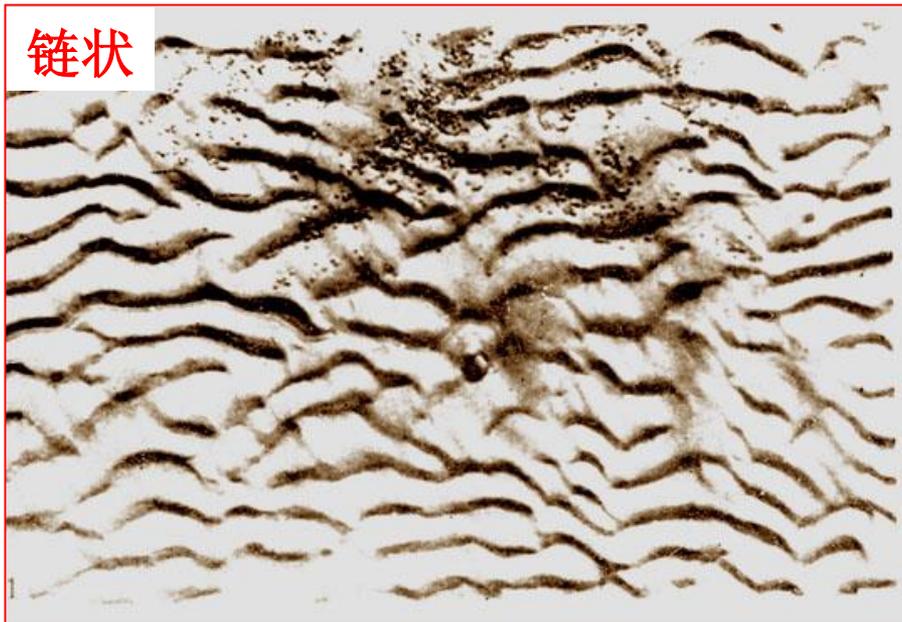
弯曲状



舌状



链状



第三节 层面构造

■按对称性

- 对称波痕

- 不对称波痕

■按成因

- 流水波痕

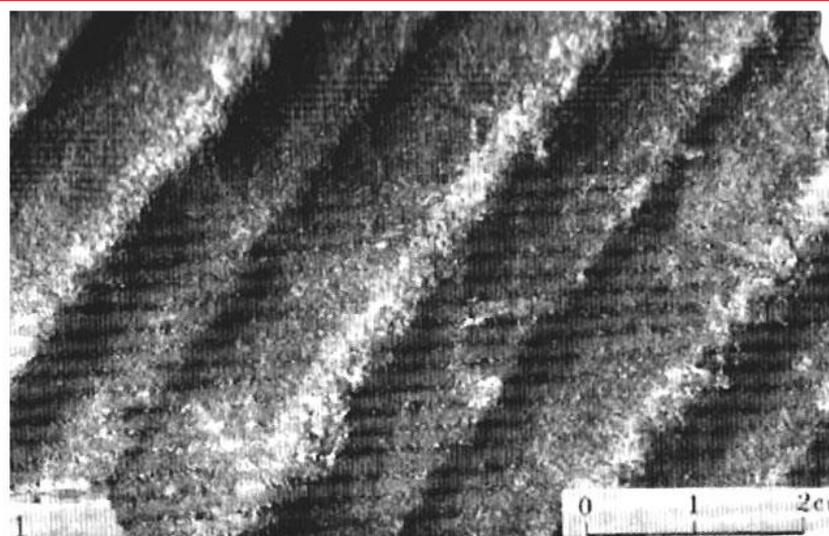
- 浪成波痕

- 风成波痕

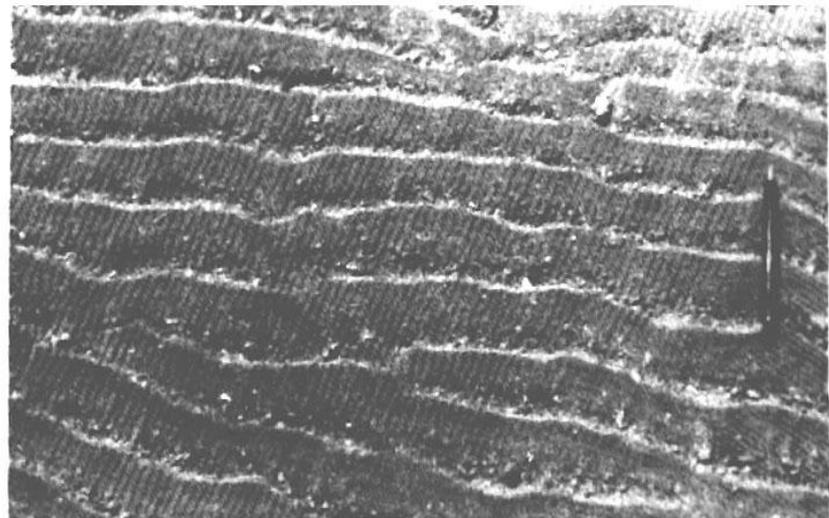
- 修饰波痕

- 叠加波痕

- 干涉波痕



波谷中发育次级波脊的对称浪成波痕，河南宜阳二叠系砂岩



曲脊波痕，波谷中富集较粗的介壳屑。北戴河现代海滩，细砂。

第三节 层面构造

3、波痕类型及特征

(1) 流水波痕一定向流动的水流形成

特点：

- ◆ ①峰谷均圆；
- ◆ ②不对称；
- ◆ ③波脊粒度细、波谷粒度粗；
- ◆ ④波痕指数 >5 （8-15）；
- ◆ ⑤波脊形态多样。



第三节 层面构造

(2) 浪成波痕—波浪的动荡水流形成

对称浪成波痕特点：

- ①峰尖谷圆；
- ②波脊粒度细、波谷粒度粗
- ③波痕指数4-13（6-7）；
- ④波脊多平直，可出现分叉；



第三节 层面构造

- (2) 浪成波痕—波浪的动荡水流形成
- 不对称浪成波痕特点：
 - 类似流水波痕，但波脊较连续。

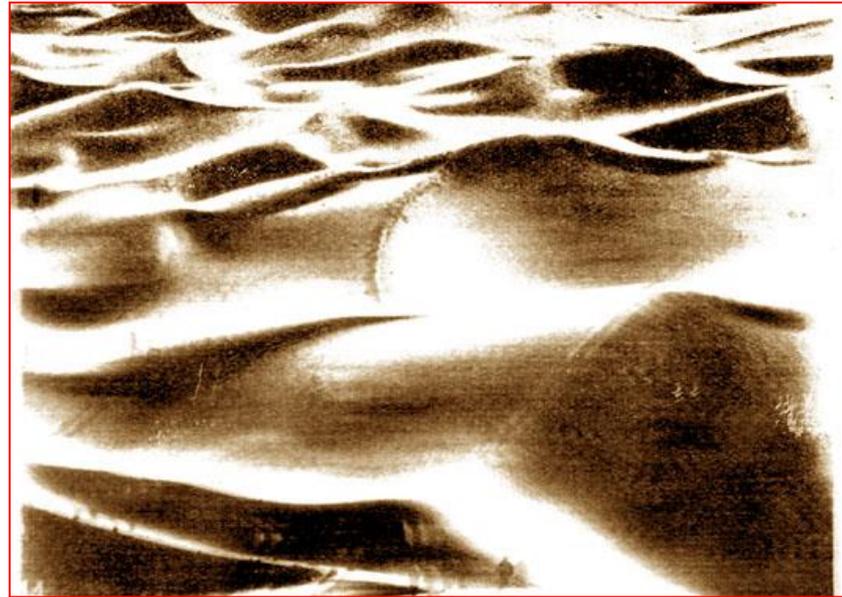


第三节 层面构造

■ (3) 风成波痕—定向风形成

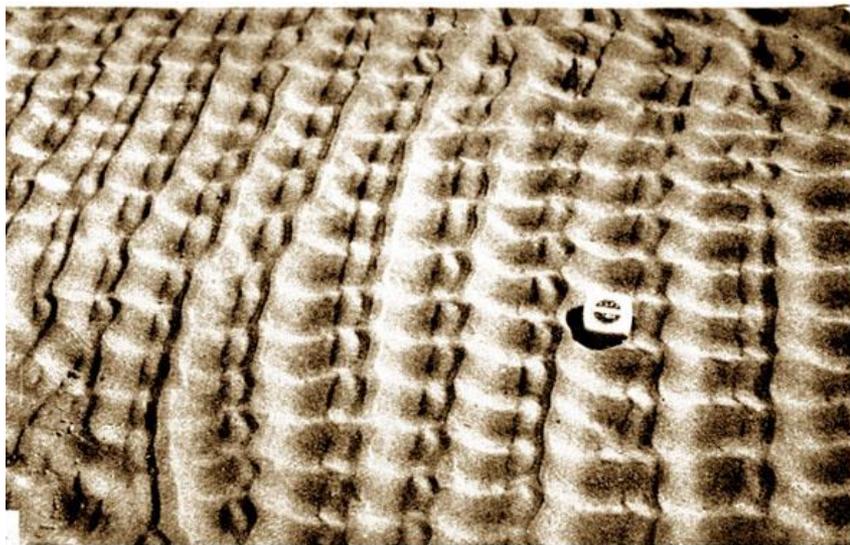
■ 特点：

- ①峰谷均圆，谷宽峰窄；
- ②极不对称；
- ③波痕指数30-70或更大；
- ④波脊形态平直。

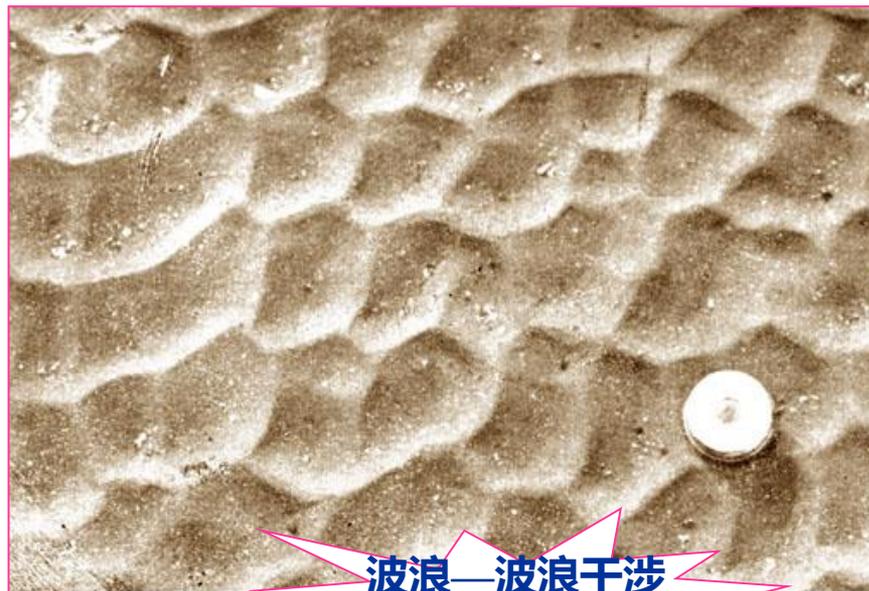


第三节 层面构造

- (4) 干涉波痕——多个不同方向的水流、波浪等同时作用，形成波峰互不平行的波痕。



波浪——流水干涉波痕

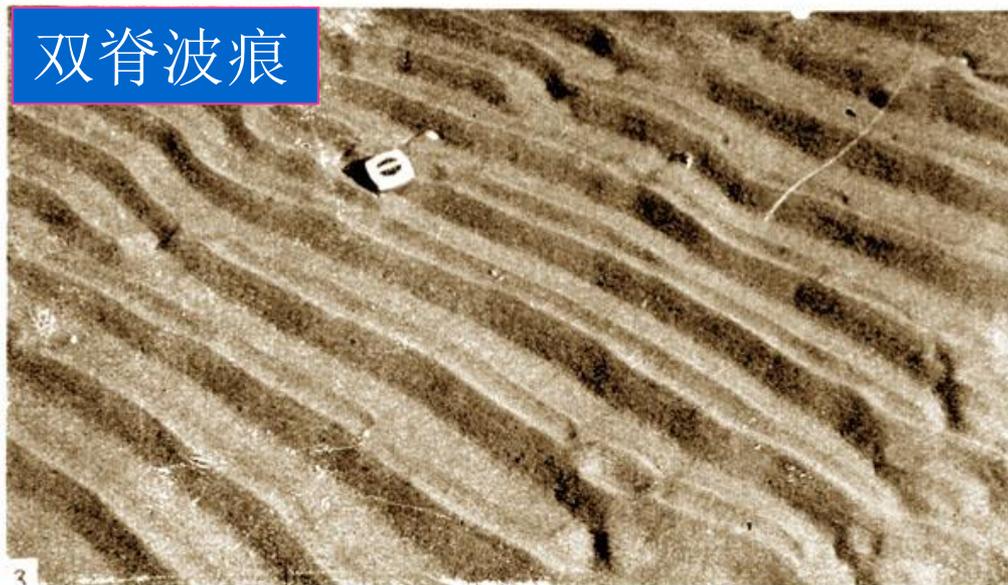


波浪——波浪干涉波痕

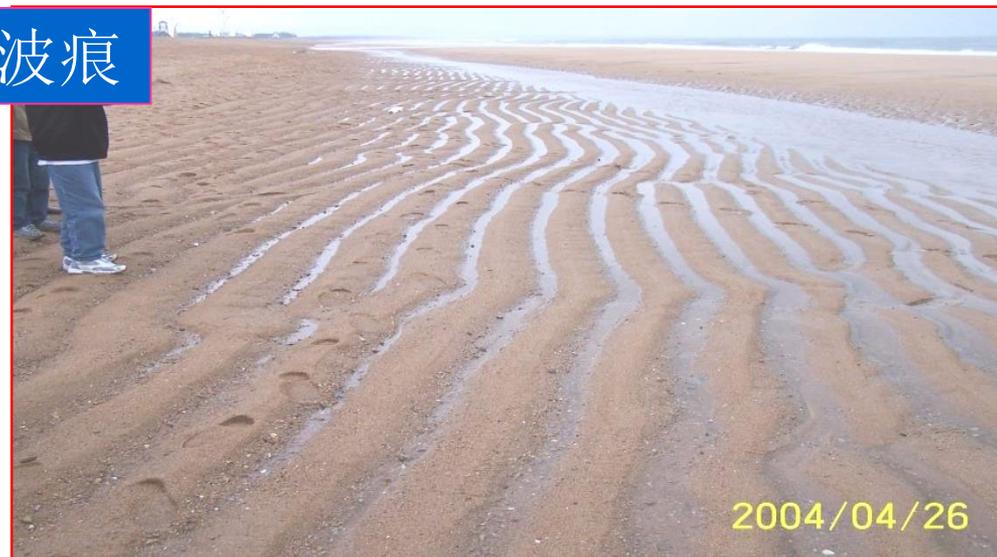


第三节 层面构造

- (5) 修饰波痕—早期形成的波痕被后期水流、波浪作用的改造。
- 双脊波痕
- 削顶波痕



削顶波痕



削顶波痕，江苏东台现代潮坪，粉砂。

第三节 层面构造

- (6) 叠置波痕—早期形成的大波痕的基础上重叠小波痕。



第三节 层面构造

4、波痕的研究意义

- ①了解岩石的形成条件；
- ②指示介质的流动方向；
- ③能指示地层的顶底；
- ④海、湖波痕在平面上的分布有平行于滨岸线的趋势，具有古地理意义。
- ⑤波痕的形态、分布和相对丰度，为识别沉积环境的重要依据。

第三节 层面构造

二、原生流水线理或剥离线理构造

■ 形态

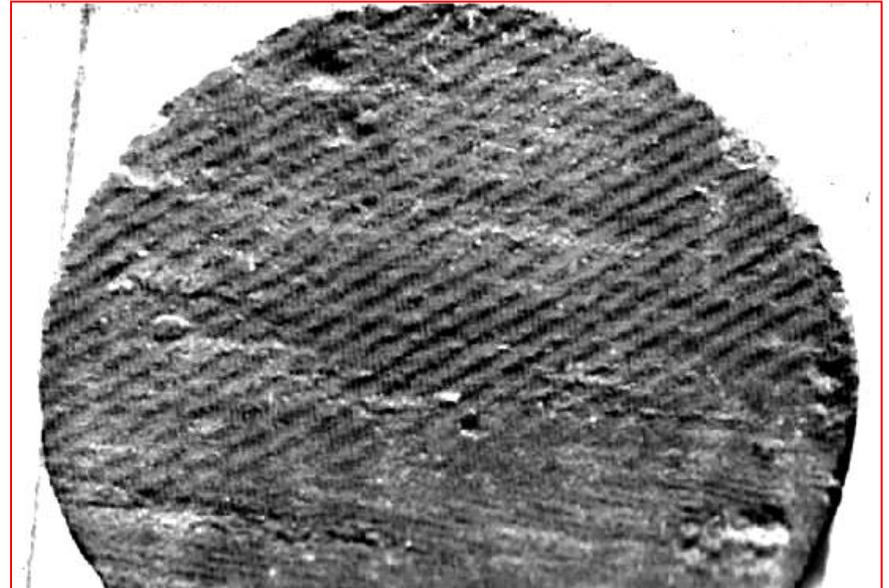
- 出现在平行层理砂岩层的剥开面上；
- 由微细的脊与沟交替排列组成，镜下可见长形矿物定向排列；
- 因为在剥开面上比较清楚，故称为剥离线理。

■ 产状

- 线状脊平行于水流方向延伸

■ 成因

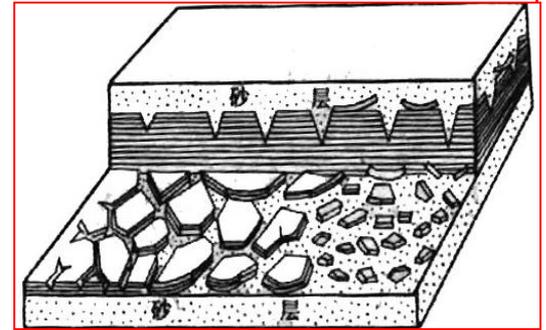
- $Fr > 1$ 的高流态下，砂粒在平坦床砂上作连续的滚动留下的痕迹。



第三节 层面构造

三、泥裂/干裂

- **定义：** 沉积物露出水面时因曝晒干涸所发生的收缩裂缝。
- **分布：** 常见于粘土岩和碳酸盐岩中，非粘性的砂则不会形成泥裂。
- **特征：**
 - 平面上呈网格状龟裂纹
 - 断裂面常呈“V”形、“U”形
 - 裂宽一般小于2-3cm，深几mm-几十cm；



- **形成环境：** 暴露环境
- **研究意义：**
 - 沉积界面间断暴露于地表的最好标志，
 - 泥裂的尖端指示地层底界面。



第三节 层面构造

四、雨痕和冰雹痕

■定义：

■雨滴或冰雹降落在松软沉积物表面时所形成的小型撞击凹穴。

■特征：

■圆形、椭圆形凹穴，边缘耸起；

■冰雹痕较大、较深和不规则。

■成因：

■干燥与半干燥气候条件下的大陆沉积；

■偶有降雨的地方，雨痕易于保存。



第三节 层面构造

五、底层面构造—底模

■定义：

■发育在岩层底面上的构造，是由水流或其携带的“工具”（如砾石、介壳等）对底床（泥或粉砂）侵蚀或刻蚀成槽、坑等，后来被（砂）充填而成。

■类型

■ 冲刷面

■ 截切构造

■ 槽模

■ 沟模

■ 渠模

第三节 层面构造

■ 五、底层面构造—底模

■ 1、冲刷面

■ 流体对下伏沉积物冲刷、侵蚀而形成的起伏不平的面。

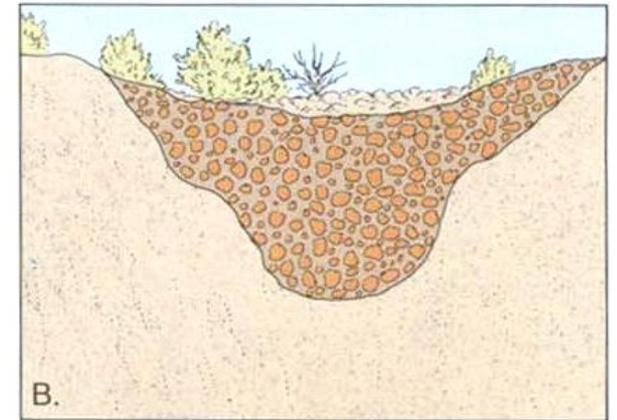
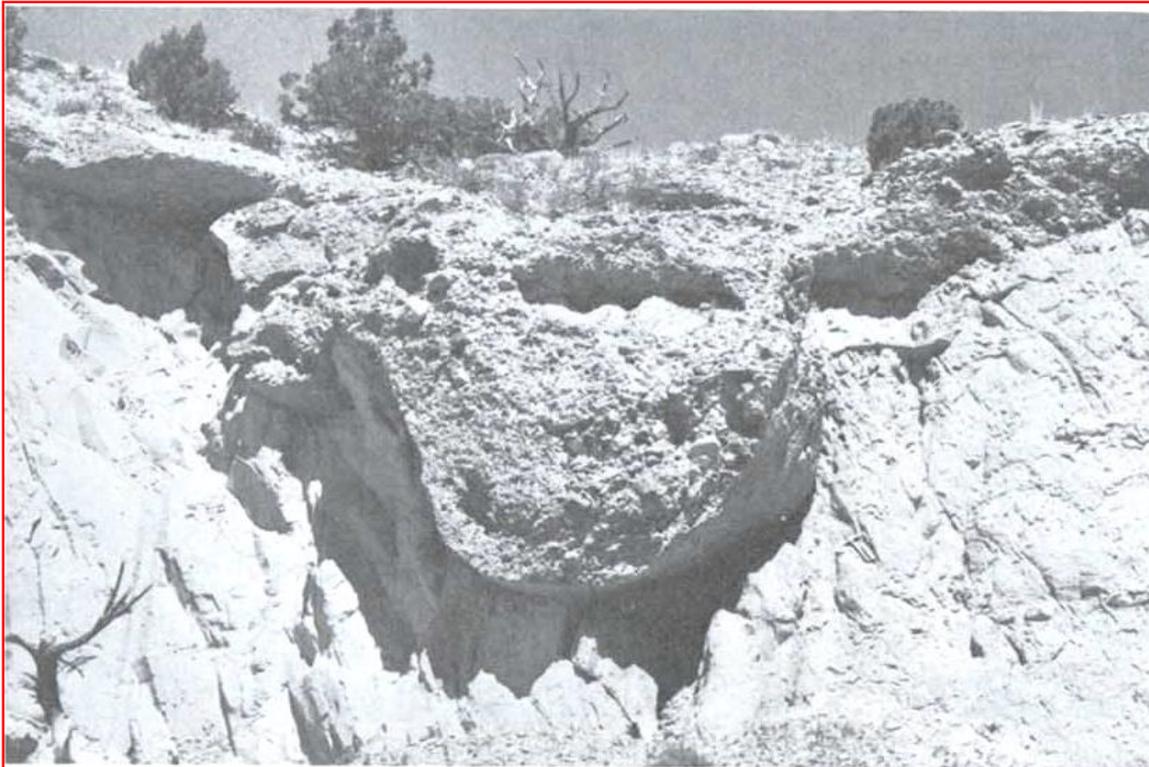


FIGURE 6.18

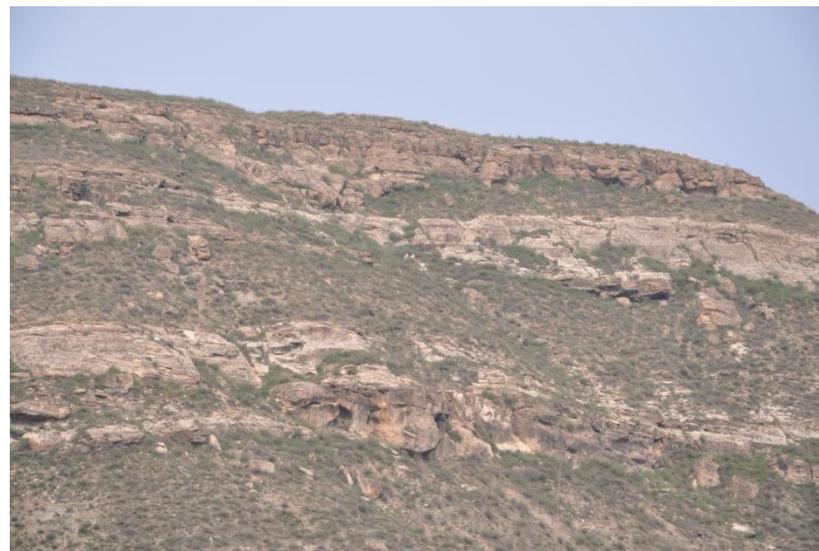
Cross section of an ancient stream channel filled with conglomerate. In a high-energy environment, such as a rushing stream, only the coarse materials can settle

第三节 层面构造

六、底层面构造—底模

■1、冲刷面

- 流体对下伏沉积物冲刷、侵蚀而形成的起伏不平的面。
- 冲刷面上部粒度粗、冲刷面下部粒度细
- 冲刷面上常含陆源砾石或泥砾。
- 多见于河流、近岸浅水和重力流水道等沉积环境中。



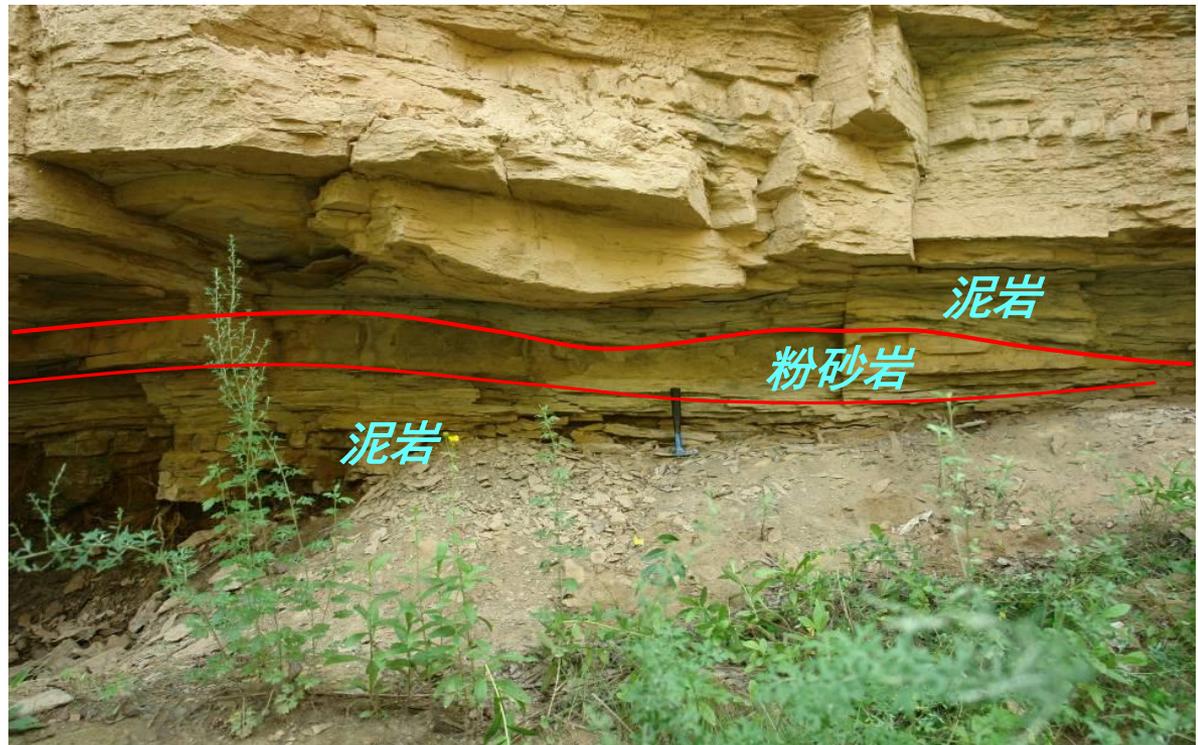
准格尔黑岱沟山1段

第三节 层面构造

六、底层面构造—底模

■2、截切构造

- 有些砂岩顶面也有侵蚀下切现象，但其内充填的是粘土质沉积。
- 泥冲砂。



第三节 层面构造

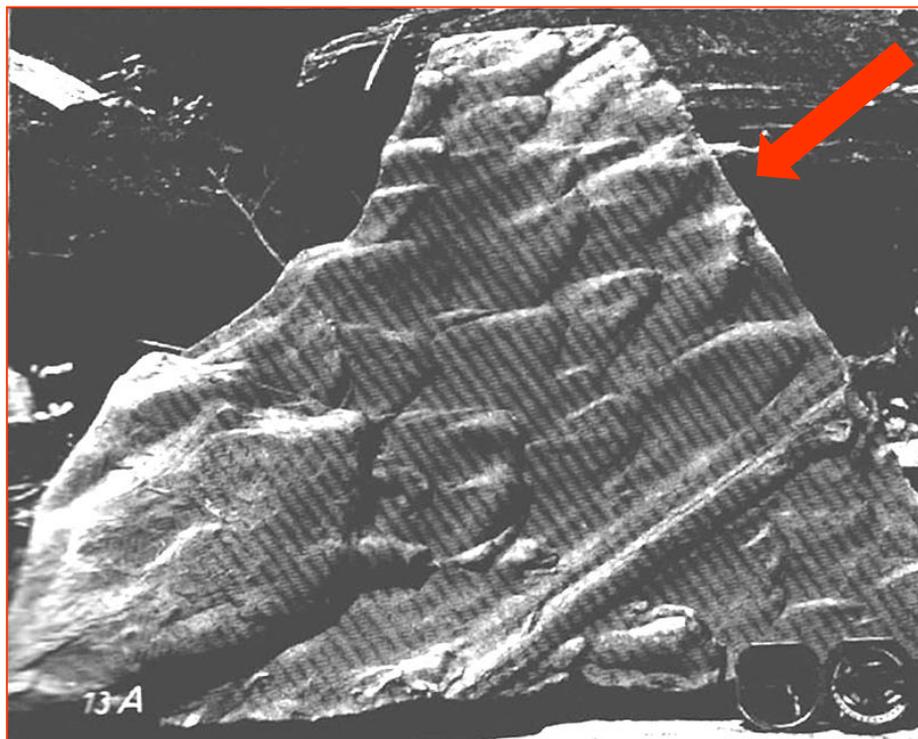
六、底层面构造—底模

■3、槽模

■由定向水流（突发性水流、涡流）在尚未固结的软泥表面侵蚀冲刷出许多凹槽，后被砂质充填而在砂岩底面上铸成的印模。

■ 特点

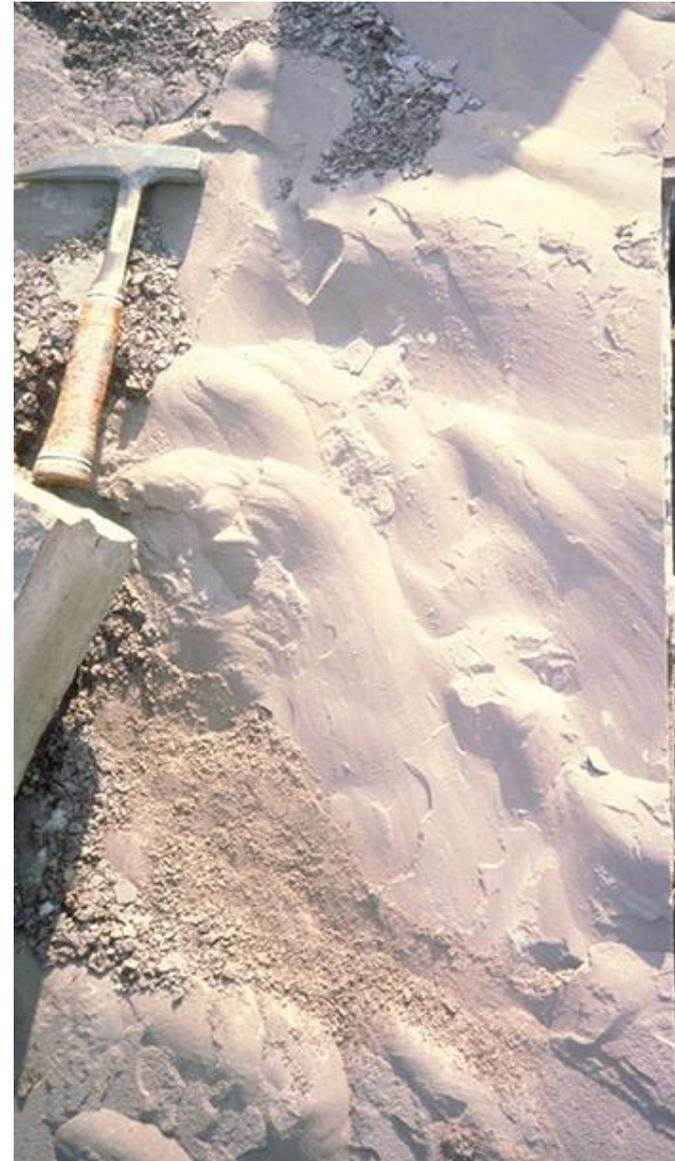
- 规则而不连续的舌状突起，一端浑圆、一端变宽变浅；
- 确定古流向：浑圆突起端迎着水流方向。
- 判断浊流环境的重要依据。



第三节 层面构造



浊积层底部的槽模



河流砂岩底部的槽模

第三节 层面构造

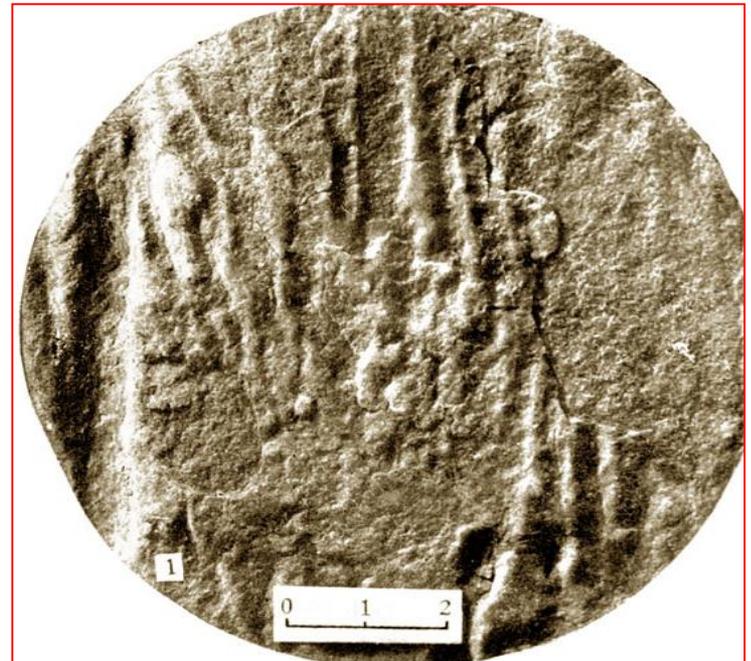
六、底层面构造—底模

■4、沟模

- 由流水携带运动的颗粒对下伏泥质沉积物侵蚀而成细沟，后被砂质物充填，而在砂质岩底面上呈现出一些稍微突起的直线形的平行脊与沟相互交替的构造（工具刻压模）。

特点

- 脊的起伏通常1~2mm，极少超过1cm，能延伸数cm到数m；
- 成组同向出现；
- 指示古流向：存在介壳和卵石端为下游。
- 浊流沉积环境最常见构造。
- 与槽模、跳模、刷模、锥模等共生。



第三节 层面构造

六、底层面构造—底模

■5、梭模、刷模、锥模

- 与沟模共生，同属于刻压类型的底模构造；
- 由间断性接触底板的物体所形成。

■ 梭模：

- 砂质层底面上以较规则的间距分布的呈近似棱形的短小脊状体。
- 由跳动搬运的物体沿流向前进过程中，间断地撞击底床所造成。

■ 刷模

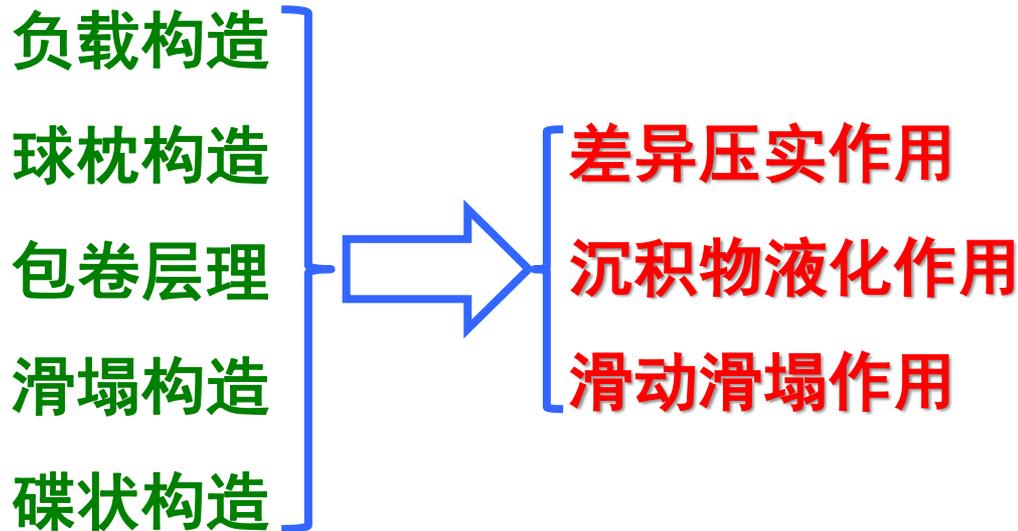
- 砂质层底面上微呈新月形的短小脊状体。
- 水流携带物体不规则地重复冲撞底板，时间长，将沉积物堆成小丘。
- 新月形突出端的指向为水流下游方向。

■ 锥模

- 砂质底面上呈扁长的半圆锥形或三角形的短小脊状体。
- 水流携带物体（如木棍）插入底板，后又向前翻转、抬升、拔去而成；
- 上游低而尖、下游端陡而窄。

第四节 变形构造

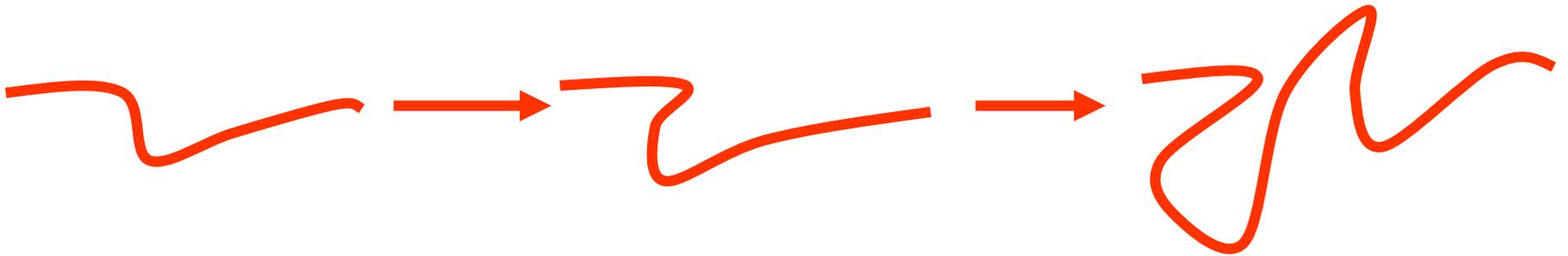
- **变形构造**：也称同生变形构造，是沉积物沉积同时或在沉积物固结成岩之前，处于塑性状态下发生变形所形成的构造。



第四节 变形构造

一、差异压实作用的变形构造

- 密度大的沉积物（砂）覆盖在密度小的沉积物之上，形成密度差→导致不均匀压力的作用→引起沉积物垂向运动



- 差异压实→砂质下沉→瘤状凸起→荷载（重荷）构造
→砂质脱落→球枕
→泥质上涌→舌形、火焰形→火焰构造

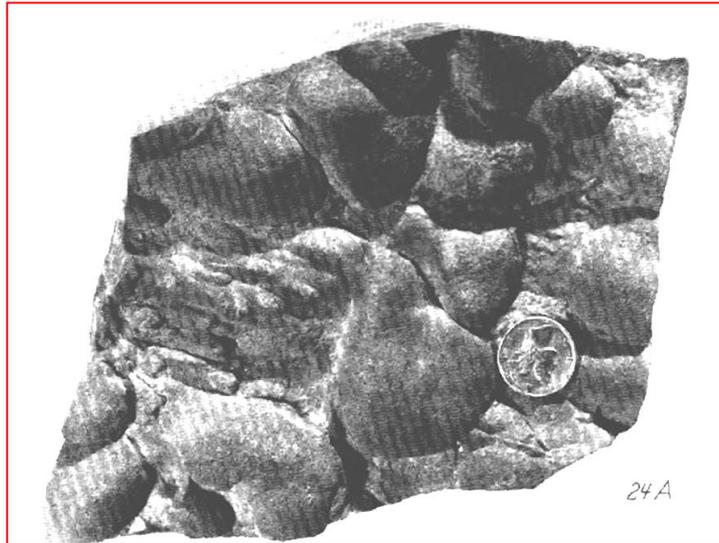
第四节 变形构造

■ 负载构造（重荷模）

■ **概念：**覆盖在泥质岩之上的砂岩底面上的不规则瘤状突起。

■ **特征：**负载构造形状很不规则，一般不对称，排列杂乱，大小不一，突起高几mm到几十cm。

■ **火焰构造：**下伏软泥向上挤入而夹于下垂的负载构造之间，呈薄的舌状体。



第四节 变形构造

- 重荷模同槽模的区别
 - 形状极不规则
 - 缺少对称性和方向性。
- 在浊积岩中保存良好。



第四节 变形构造

■ 球枕构造

■ **概念：**是指砂岩层断开并向下陷入泥岩中形成的许多不均匀排列的砂质椭圆球体或枕状体。

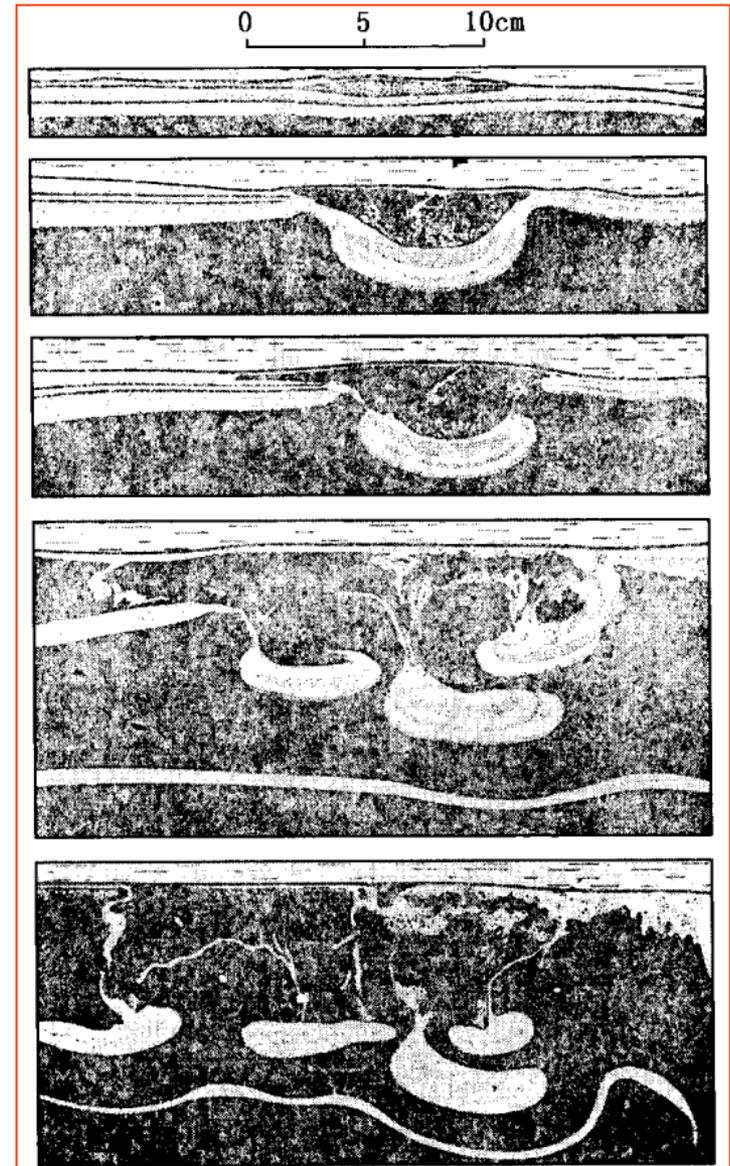
■ **特征：**

■ 大小从十几cm到几m；

■ 一般不具内部构造。如果砂岩具有纹层，则多已变形，常随砂球或砂枕外形向下弯曲而呈槽状。

■ **成因：**砂层断裂或震动产生垂直位移，陷入下伏泥质岩中形成。

■ **环境：**不限于任何特殊的环境



球状和枕状构造（据赖内克，1979）

第四节 变形构造



球枕构造

第四节 变形构造

二. 沉积物液化作用的变形构造

快速沉积的沉积物中包含水，在负荷力、地震波等因素的影响下，作用于颗粒支撑的沉积物的有效压力被传递到孔隙流体中去，产生极高的孔隙压力，使颗粒间的摩擦力减小，而被液化，发生流动。



液化体运动：侧向运动-碟状构造

泄水通道-柱状构造

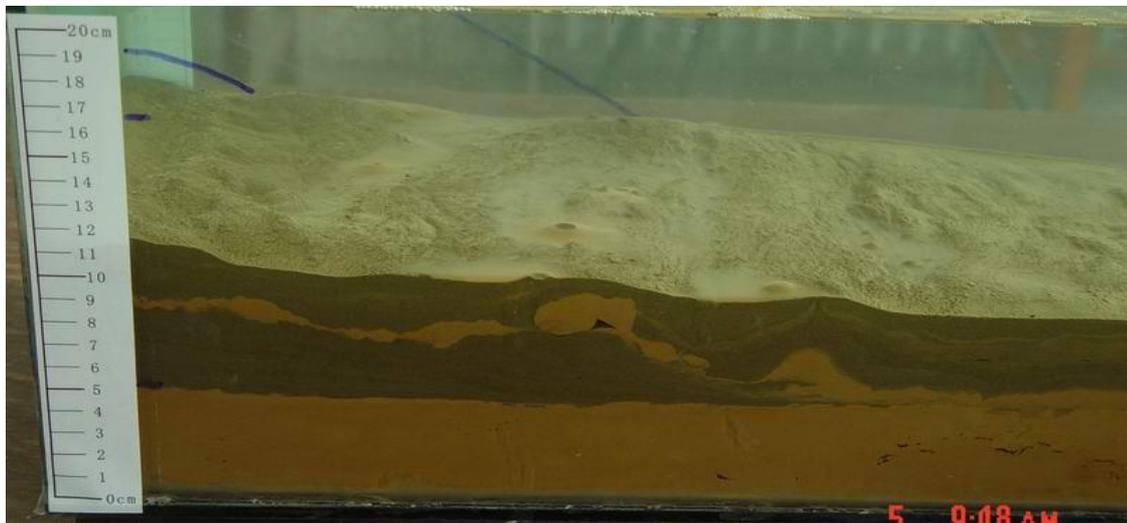
喷出地表-砂火山

侧向+垂向运动-包卷层理

第四节 变形构造



1989年加利福尼亚洛
马普瑞特地震中液化
砂层产生的“沙火山”



砂火山形成

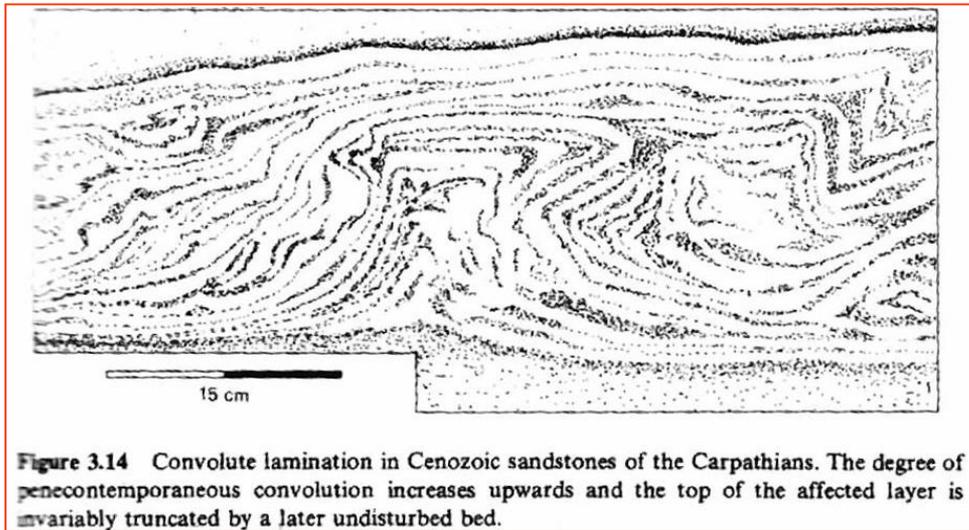


被完全破坏掉的三角洲前缘斜坡

第四节 变形构造

■ 包卷层理（卷曲层理/揉皱层理）

- **概念：**是指在一个岩层内所发生的纹层盘回和扭曲现象。
- **特征：**常表现为连续的开阔“向斜”和紧密的“背斜”。
- **成因：**液化层的层间流动引起原生层理的弯曲。
- **分布：**
 - 薄层（2-25cm）粉砂层及硅质、碳酸盐质层中。
 - 浊流沉积中较为常见，如鲍玛序列的“C”段。
 - 潮间滩地、泛滥平原也很丰富。

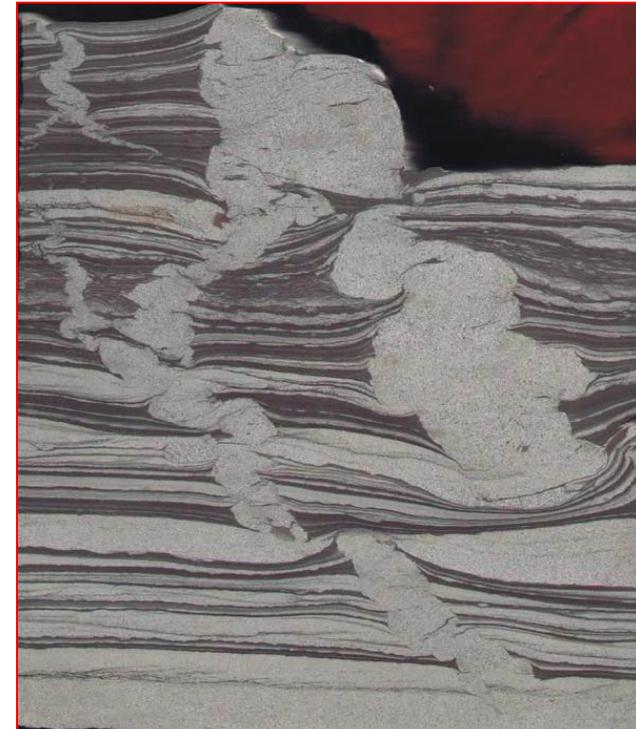
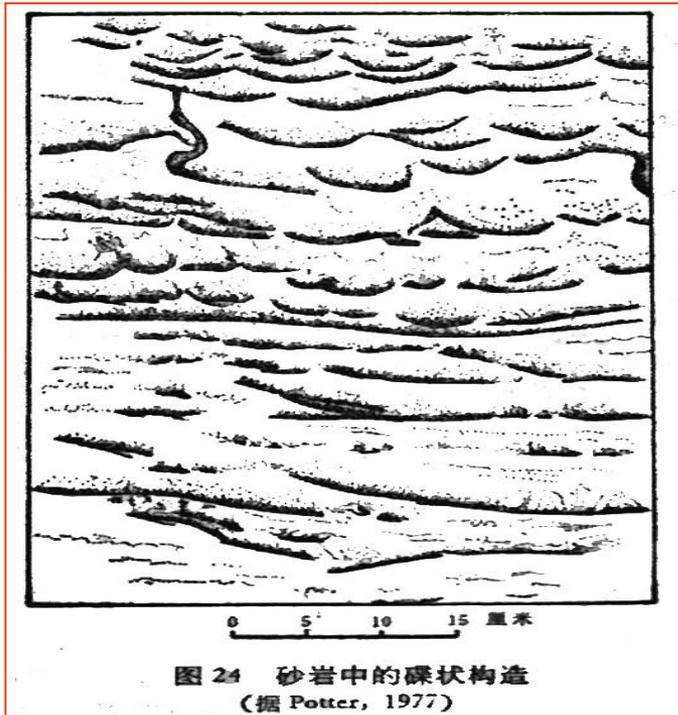


第四节 变形构造

■ 碟状构造（泄水构造）

■ **碟状构造**：由模糊的形如蝶状的上凹纹层组成、直径一般为几厘米，在横向上断续分布，垂向上互相重叠

■ **柱状构造**：也叫泄水管构造或泄水通道，指泄水通道中的砂柱。



第四节 变形构造

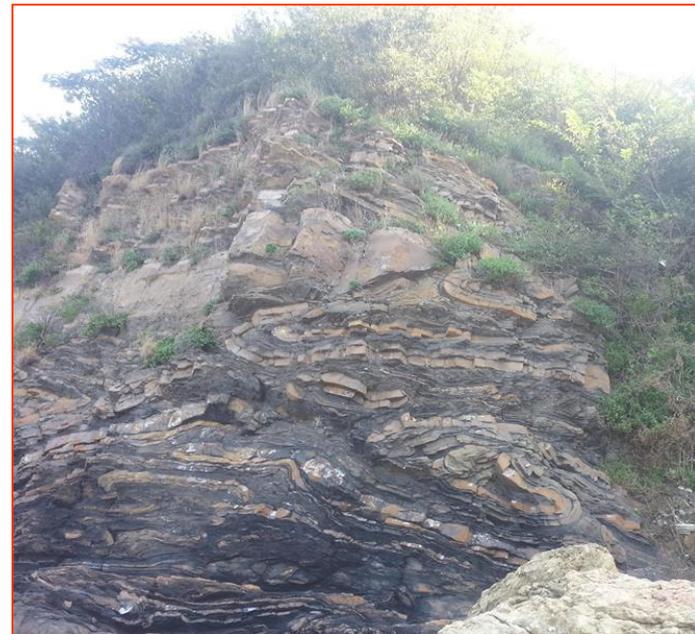
三、滑动滑塌作用的变形构造

■ **概念：**指斜坡上未固结的软沉积物在重力作用下发生滑动和滑塌而形成的变形构造。

■ **特征：**沉积层内发生变形、揉皱，伴随的小型断裂，岩石破碎、岩性混杂，呈角砾状外貌等。

■ **成因：**一般伴随快速沉积而产生。它是水下滑坡的良好标志。

■ **分布：**多分布在潮间滩地水道内与河道中的点砂坝，三角洲前缘以及海底峡谷前缘等。



第五节 化学成因构造

■ 概念

- 成岩过程中及其以后由化学作用所形成的构造；

■ 成因

- 化学沉淀和溶解两种作用的结果；

■ 类型

- 晶体印痕

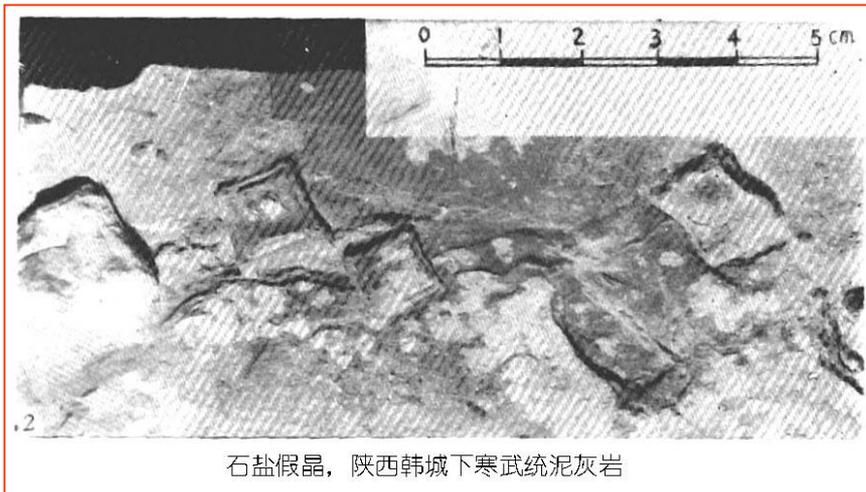
- 结核

- 缝合线

第五节 化学成因构造

一、晶体印痕

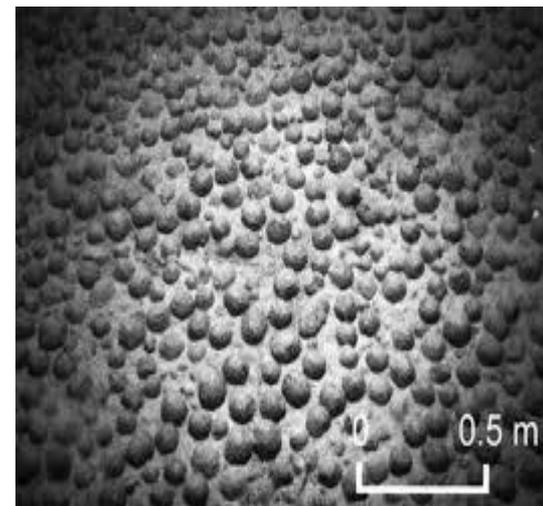
- 在一定条件下，松软沉积物表面可形成具良好晶形的盐类和冰等物质的结晶体。这些晶体后来由于溶解、融化而消失，从而在层面上留下晶体印痕。
- 这些晶体也可被其它物质交代，或晶痕为其它沉积物充填，从而形成晶体假象，称为**假晶**。
- **常见类型及环境意义**
 - 石盐晶体印痕 (★★★) → 环境的盐度很高。
 - 冰晶印痕呈针状 → 寒冷地带的湖岸、河漫滩及潮间滩地。



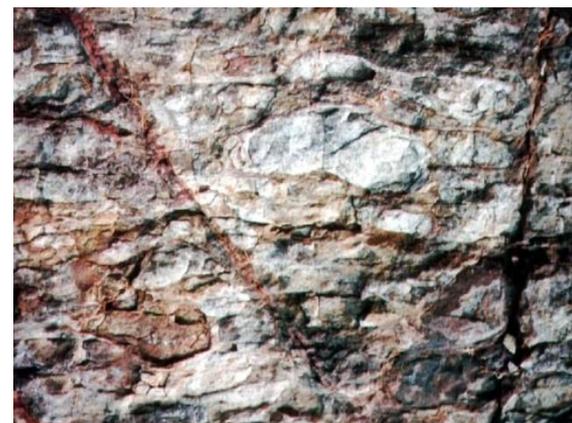
第五节 化学成因构造

二、结核

- **概念**：是岩石中自生矿物的不规则集合体，这种矿物集合体在成分结构、颜色等方面与围岩有明显的不同。
- **成因**：在未固结的沉积物中呈溶液状态的分散物质，重新分配和集中并逐渐增长而成。
- **特征**：球状、椭球状、不规则的团块状，几mm到几十cm
- **结构**：结核的内部可以是均质的、同心圆状或放射状等；有时可见围岩层理的残留构造
- **产状**：结核在围岩中可以单独存在，也可呈串珠状成群产出，甚至平行层面分布。



假结核



第五节 化学成因构造

二、结核

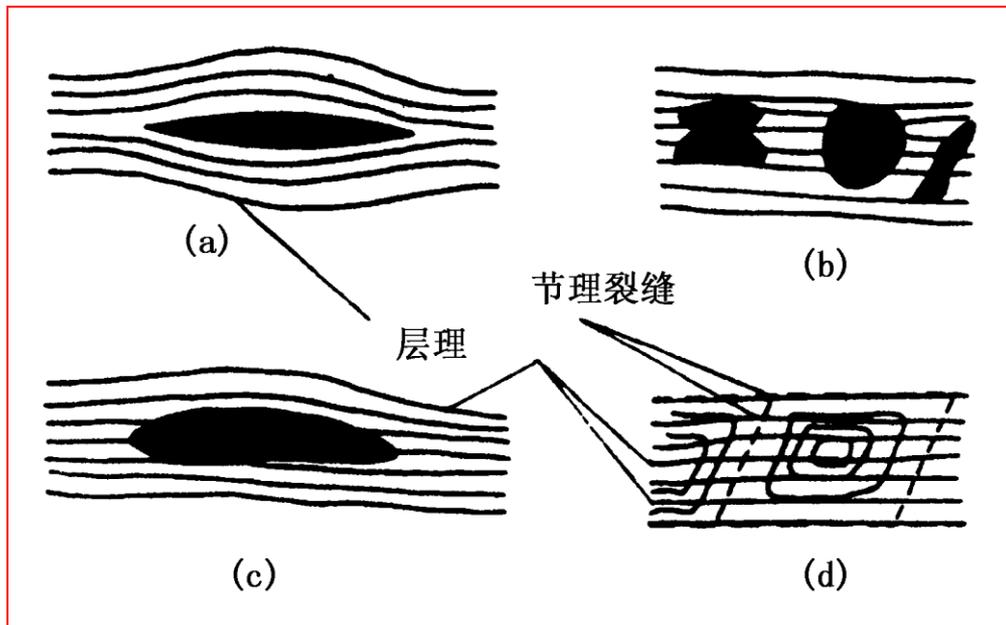
■ 类型

■ 按形成阶段

■ 同生结核、成岩结核、后生结核

■ 按成分

■ 碳酸盐、硫化铁、硫酸盐、硅质、磷酸盐



(a)同生结核：层理绕过结合呈弯曲状；

(b)成岩结核：层理可被切穿层理，也可围绕结合弯曲；

(c)后生结核：切穿层理而无层理弯曲；

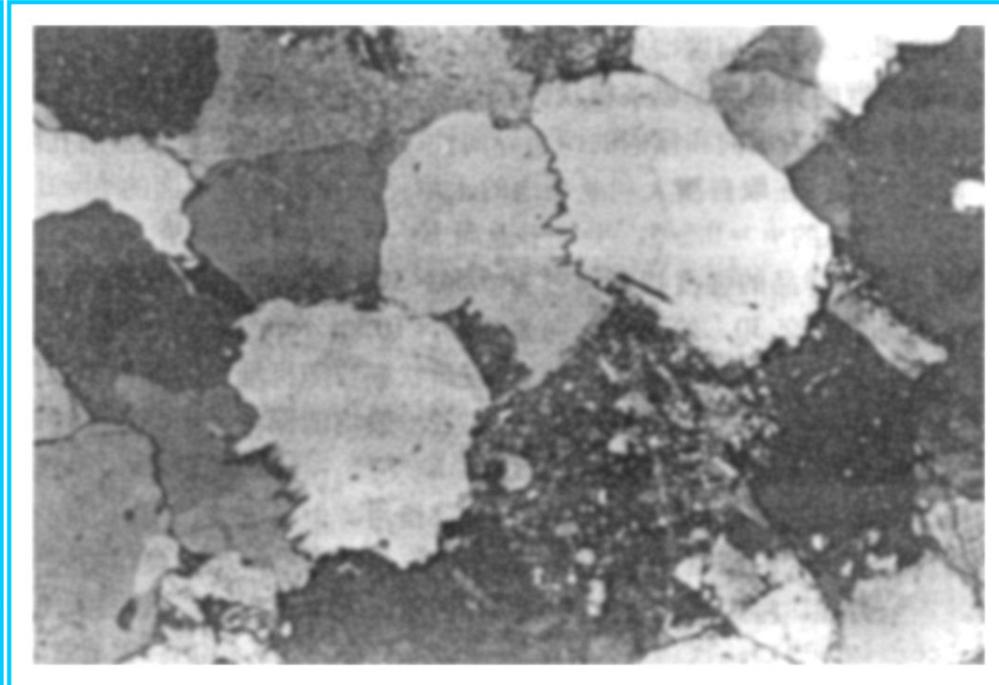
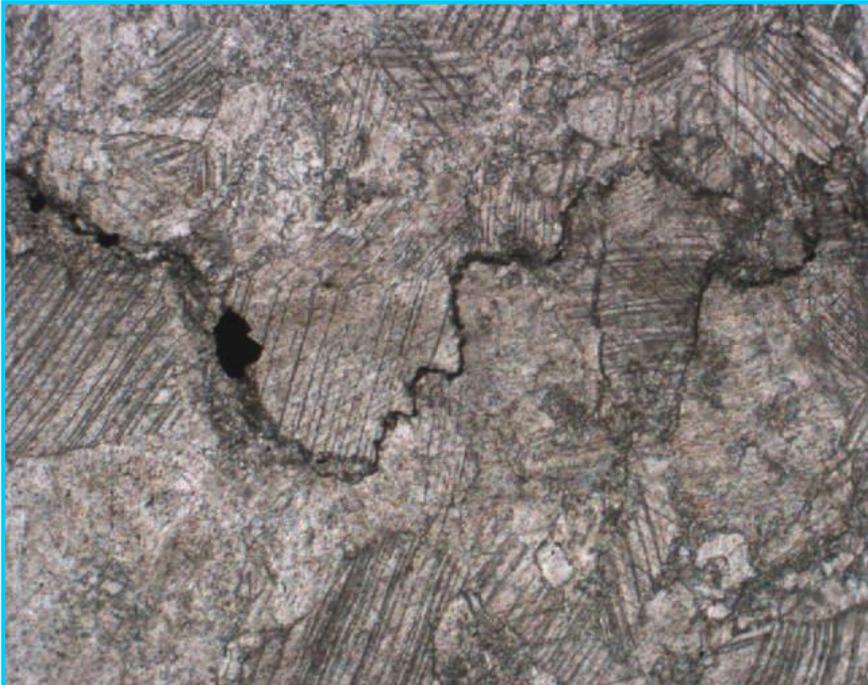
(d)假结核：风化作用形成的状似结核的岩石团块。

第五节 化学成因构造

三、缝合线

多见于碳酸盐岩中，砂岩、硅质岩、蒸发岩也可有。

锯齿状微裂隙，压溶作用……



第六节 生物成因构造

■ 概念

■ 生物在沉积物内部或表面活动时，把原来的沉积构造加以破坏和变形，而留下的它们活动的痕迹，称生物成因构造。

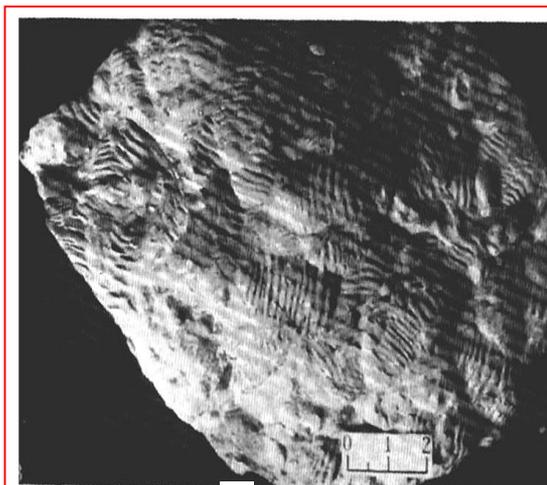
- 生物遗迹构造（遗迹化石）
- 生物扰动构造
- 植物根迹

第六节 生物成因构造

一、生物遗迹构造（遗迹化石）

- 物遗迹构造：由生物活动产生于沉积物表面或内部并具有一定形态的各种痕迹。
- 分类：遗迹化石的形态主要受动物习性的控制。按照行为方式分为：

- 穴居痕迹
- 觅食痕迹
- 牧食迹
- 停息痕迹
- 爬行痕迹
- 耕作迹
- 逃逸迹



皱饰迹 (Rusophycus), 三叶虫的停息迹, 浅海, 湖北汉阳泥盆系灰岩



舌形贝 (lingula) 的简单垂直潜穴, 山东青岛现代砂质海滩。



始古网迹 (Protopaleodictyon), 觅食潜穴, 西藏阿里下白垩统砂质板岩

第六节 生物成因构造

1. 居住迹 (*Domichnia*)

- 内生动物为了避免水流的冲刷及食肉动物的袭击和为了觅食而在地层内挖掘的一种永久居住穴，即潜穴或钻孔。

形态：具有方向性和形态特征

表现为垂直或斜向管穴，

U形或分枝潜穴。



舌形贝 (lingula) 的简单垂直潜穴，山东青岛现代砂质海滩。



具有U状构造的简单垂直潜穴

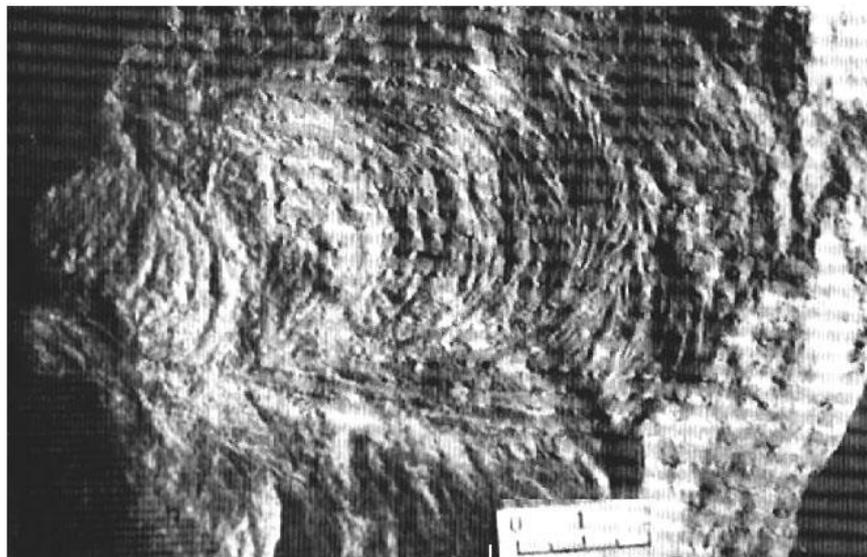
第六节 生物成因构造

2. 觅食迹 (*Fodinichnia*)

又叫摄食迹，是在浅水中，半固着或内生食泥动物为了觅食在沉积物内部进行挖掘形成的通道。

形态

- 通常有分枝状及辐射状。
- 逐渐平行水平层理。



动藻迹 (*Zoophycus*)，蠕虫动物的摄食潜穴，浅海至半深海，河北秦皇岛中石炭统砂质板岩



Semirobundichnus (半圆形迹)

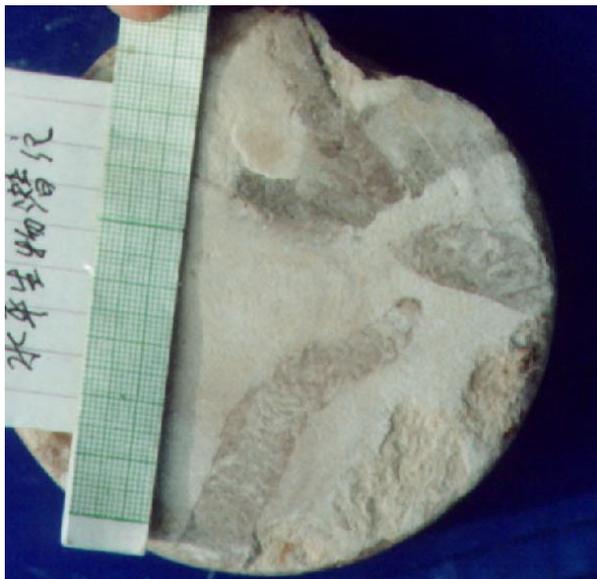
第六节 生物成因构造

3. 牧食迹 (*Pascichnia*)

在较深水安静环境中，生物沿沉积物表层一面爬行，一面吞食沉积物中的有机质时造成的痕迹。

形态

- 通常有方向性、不分枝
- 规则的旋卷弯曲排列、蛇曲形



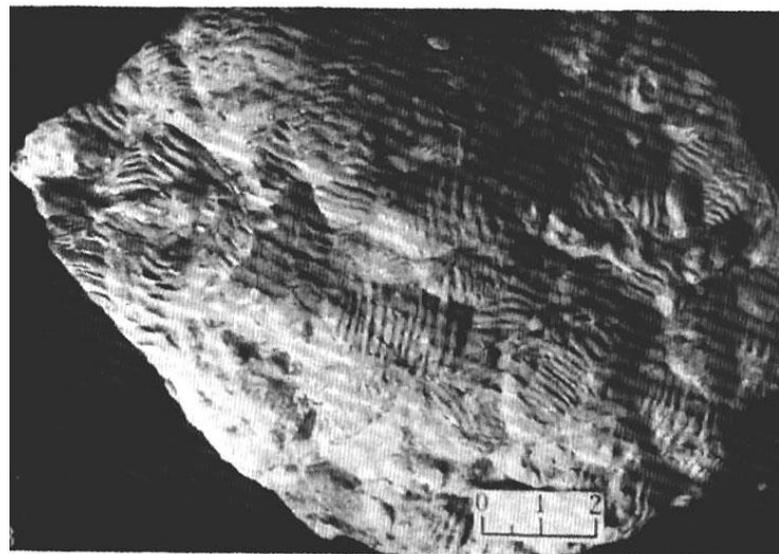
第六节 生物成因构造

4. 停息迹 (Cubichnia)

- 动物躺卧在沉积物之上或运动暂时停止而在沉积物表面留下的躯体印痕。

■ 形态

- 同生物腹面形态



皱饰迹 (Rusophycus), 三特刊虫的停息迹, 浅海, 湖北汉阳泥盆系灰岩

5. 爬行迹 (Repichnia)

- 动物以运动为目的行走、奔跑、爬行和拖拉在沉积物表面形成的遗迹。

形态

- 微小生物直线或曲线型的简单花纹
- 大型生物的足迹

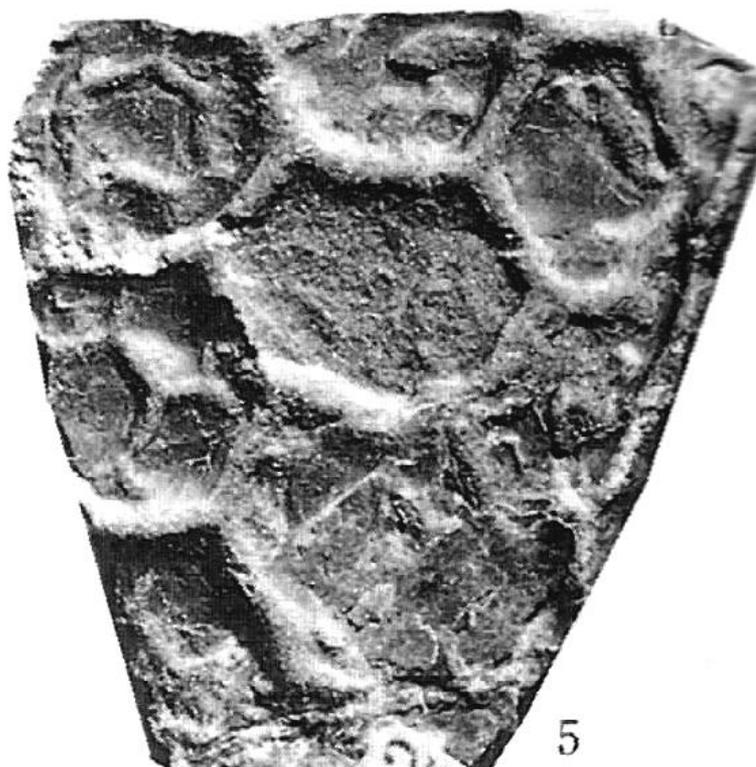


爬行迹

第六节 生物成因构造

6. 耕作迹 (Agrichnia)

微小的生物为觅食兼居住而构成的一系列几何形态复杂而规则的水平潜穴通道。



5

7. 逃逸迹 (Fugichina)

动物为逃避天敌或不利环境而形成的痕迹。特征：

沉积速度加快→动物迅速向上移动

沉积物被侵蚀→动物立即向下逃逸

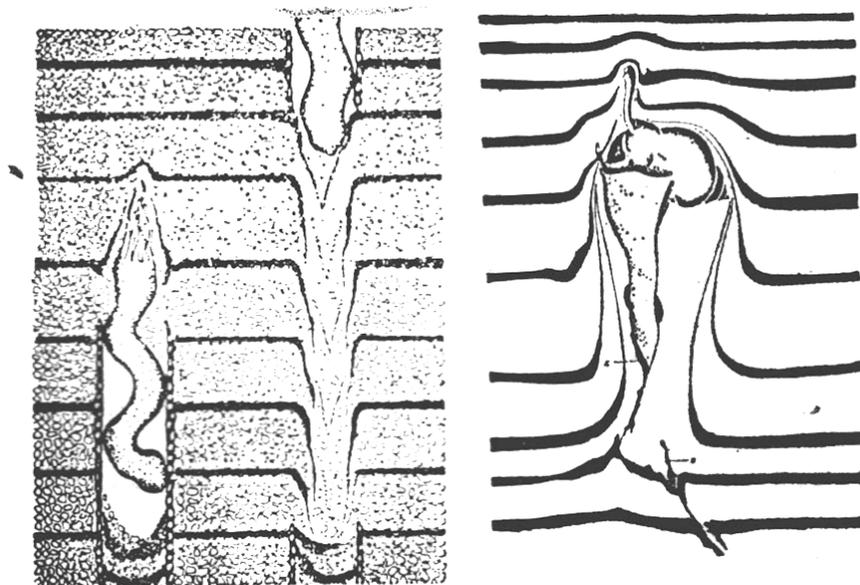


图 2-6 逃逸构造示意图

左图—海葵类被沉积物覆盖后，向上移动；右图—腹足类 *Buccinum* 在沉积物内向上运动，使沉积层变形。×表示砂同分泌粘液混合（据Schafer, 1972）

第六节 生物成因构造

研究意义：

生物遗迹构造都是原地形成，不被搬运转移，而是随沉积物固结成岩保存下来，所以是判断环境的良好标志。

- 滨海地区，潮汐波浪作用强，温度、盐度变化大，底栖生物绝大多数挖掘很深的垂直潜穴或在岩石上钻孔。
- 浅海地区，环境因素变化小，底栖生物潜穴较浅，多数倾斜或水平。
- 半深海或深海地区，环境相对安定，以食泥生物为主，在层面上留下各种弯曲状、网状、树枝状或螺旋状的觅食和牧食迹构造及复杂的潜穴系统。

第六节 生物成因构造

在海洋中，控制环境的主要因素是深度，因此Seilacher（1967）提出，可以将遗迹化石分为几个受深度控制的组合，并将之称为遗迹相。海相沉积中的遗迹化石按深度划为四种遗迹相

Skolithos（石针迹）相：在海滩和潮坪极浅水环境中，直立的潜穴保护自己，其形状可以从简单的至U形的。潜穴较之潮下浅海的要深三倍。

Cruziana（克鲁兹迹）相：分布在有波浪影响，但环境较滨海安定的浅海，为各种倾斜的或近于水平的觅食坑或潜穴。

Zoophycus（动藻迹相）：分布于浅海区较安静环境，沉积物分选差，蠕虫动物中的环节动物可造成一套特殊的觅食潜穴。

Nereites（似沙蚕迹）相：分布于半深海和深海区。生物不再需要保护性潜穴，为了获取富含食料的沉积物，它们系统地改进觅食方法，产生了一系列痕迹形态复杂，而有秩序的几何图案。如网格状、螺旋状、蛇曲状等。这种遗迹相常见于浊积岩系。

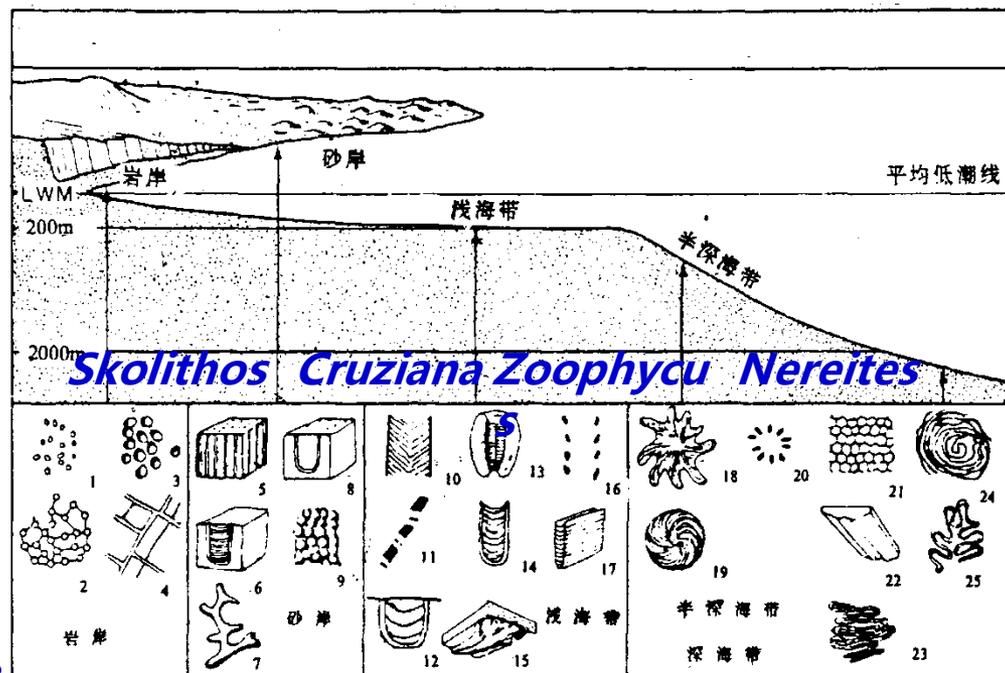
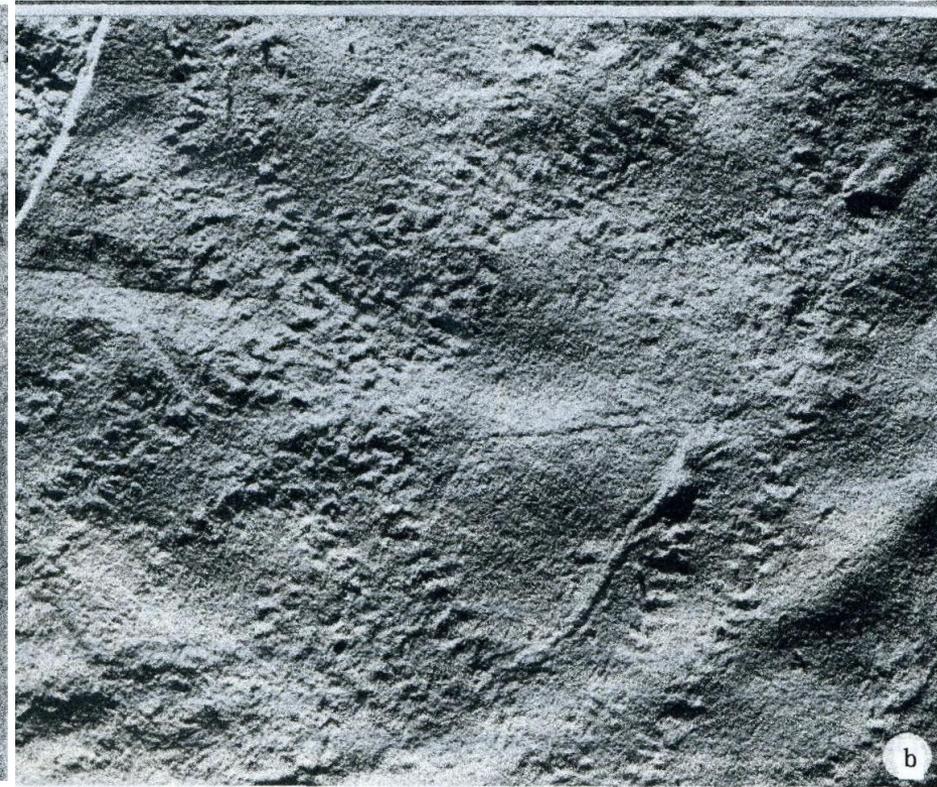


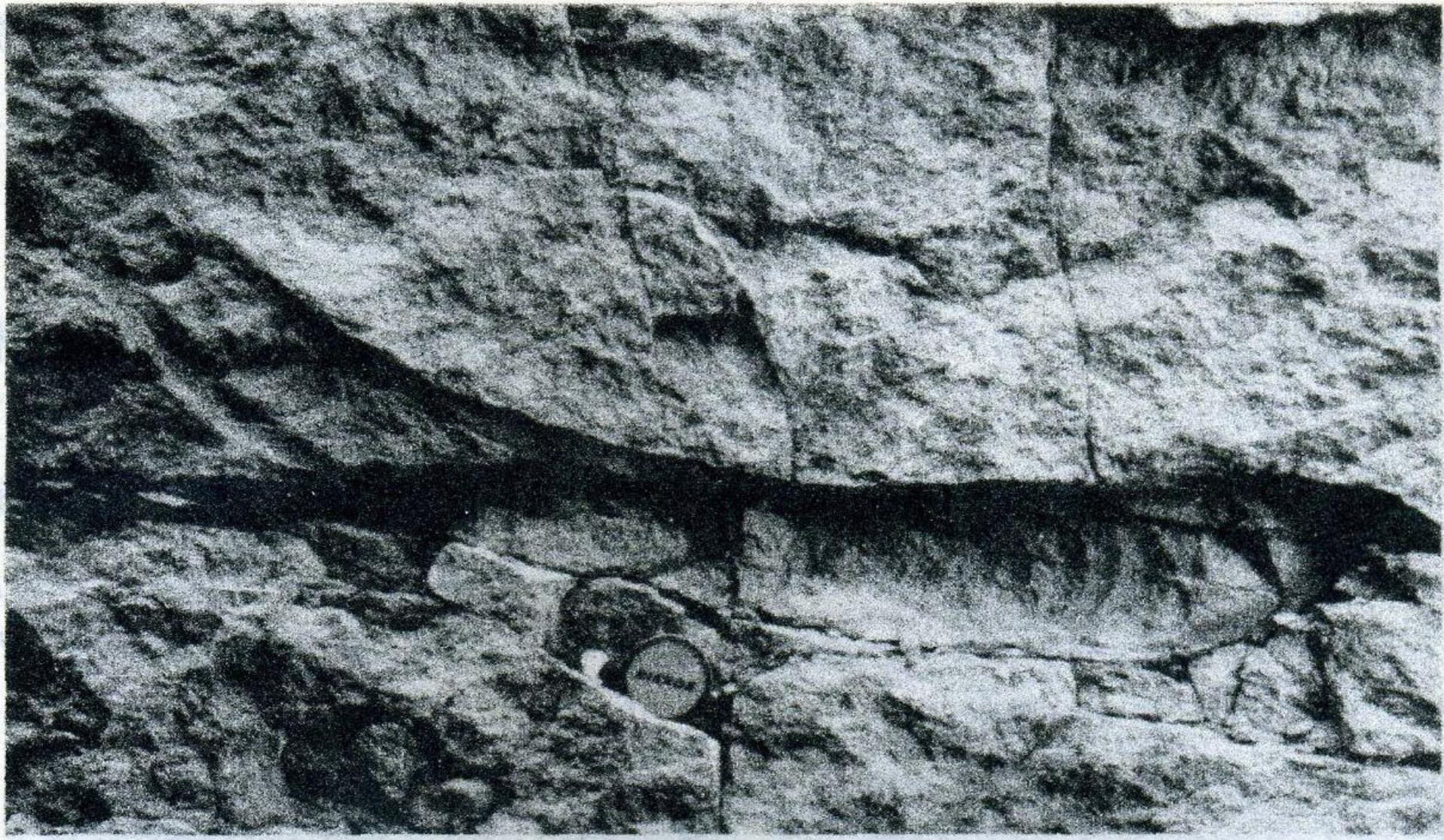
图 3.29 遗迹化石与沉积环境的关系(据 Crimes, 1975)

第六节 生物成因构造



行迹

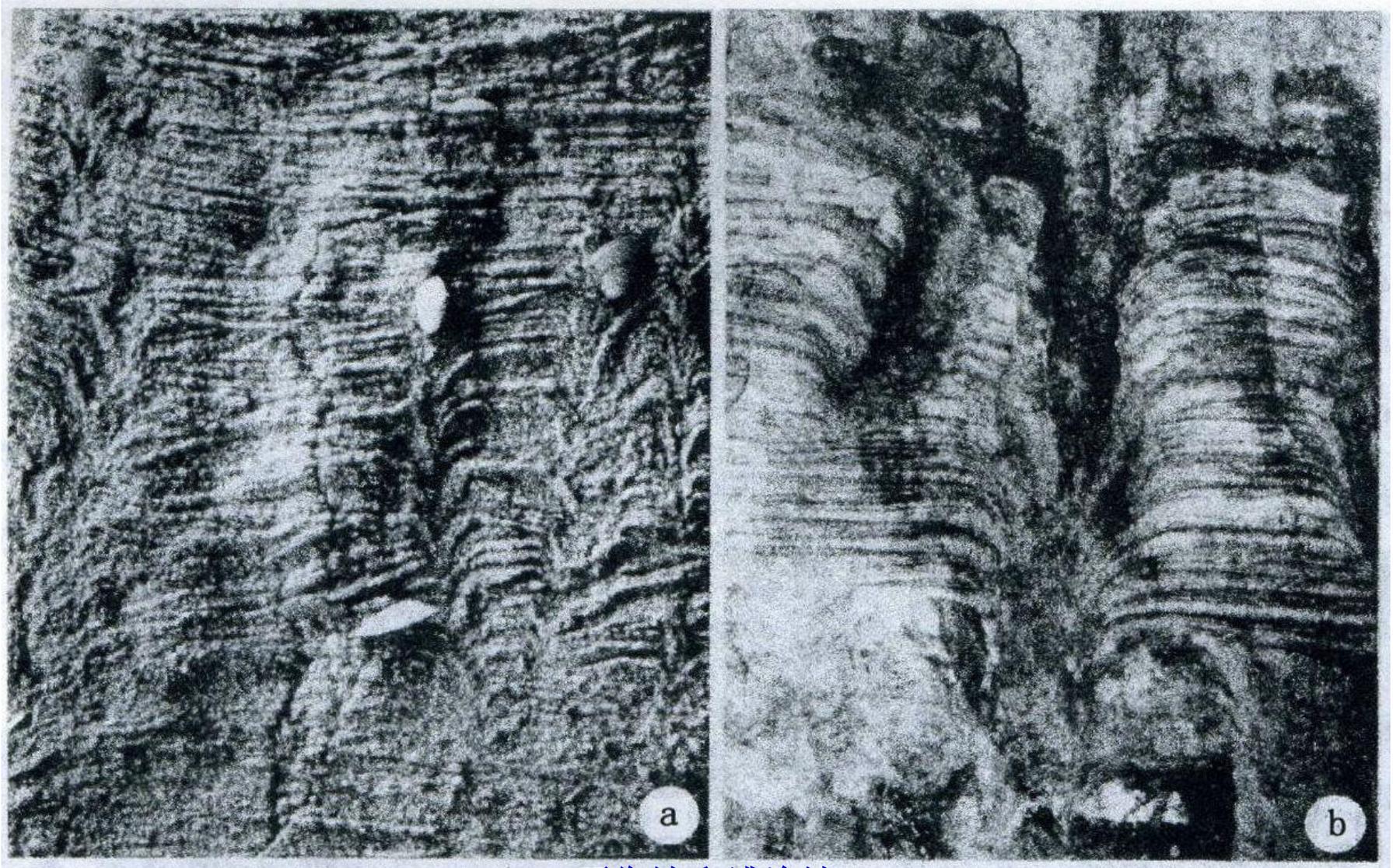
(a) 环节动物鳞头类 (scalibregmiatid) 蠕虫 *Gattyana cirrhosa* 形成的爬行迹雏形，该蠕虫产自丹麦海岸潮下带泥质海底，本照片摄自水族馆，动物正在底表爬行，但它也同样能在底内爬行 ($\times 2$)；(b) 三叠纪非海相粉砂岩中相似的移迹，产自东格陵兰 Fleming Fjord 组；外生遗迹的表生浮雕底迹 ($\times 2$)



一个较短的*Rhizocorallium irregulare* 标本，其远端因动物的生长而略微变粗
这是水平食泥动物的蹼状觅食迹，产自苏瓦尔巴群岛Isfjorden地区中三叠统
Bravaisberget 组



意大利三叠系浊积岩中的雕画迹，表明是一种开放的网状系统，其居住者可以反复出入。这种构造现在已被解释为微生物牧园（Seilacher, 1989）。



平衡迹和逃逸迹

(a) *Macoma balthica*形成的平衡构造，在河道充填物中，沙子的沉积相对稳定，双壳动物则不断向上攀升，产自德国海湾威悉河与易北河之间的潮坪，图为环氧树脂充填的盒式岩心（ $\times 0.5$ ）；(b) 快速沉积的沙子中的逃逸遗迹，产自加拿大阿尔伯特州下白垩统McMurray组的Athabasca油砂岩（同Pemberton等，1982）

实例:

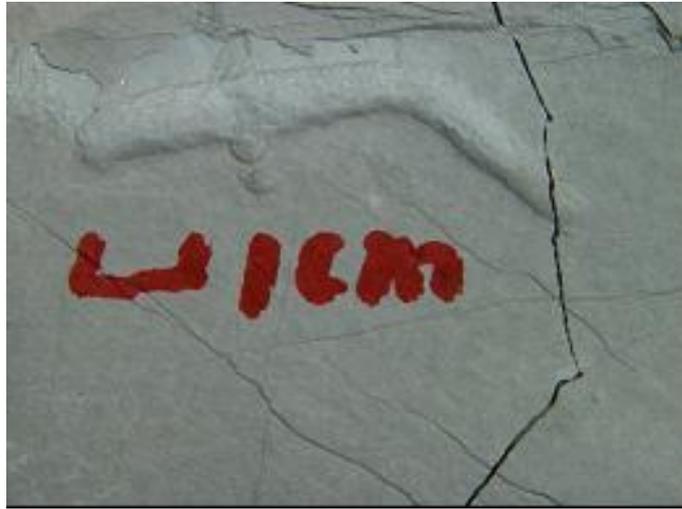


强烈生物钻孔, 扇三角洲平原
(红20井, 3188m, E_3^1)



垂直钻孔, 紫红色泥质粉砂岩, 三角
洲平原(SX中11井, 2318.5m, N_2^1)

第六节 生物成因构造



泥岩中的水平钻孔 (西岔沟剖面,N1)



U形管(油砂山剖面,N₂¹)



水平管(砂33井,2013.7m,N₂¹)



Neonereites 新沙蚕迹

第六节 生物成因构造



临澧太浮山志留系顶部，水平生物潜穴



水城玉舍三叠系飞仙关组，水平生物潜穴

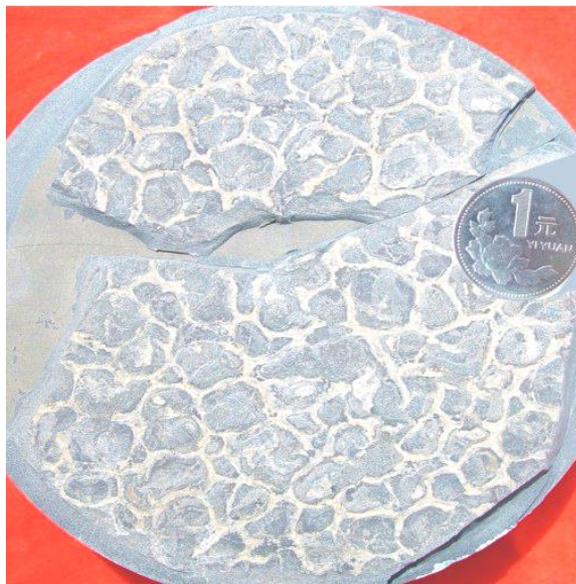


通心粉管迹B1=3

第六节 生物成因构造



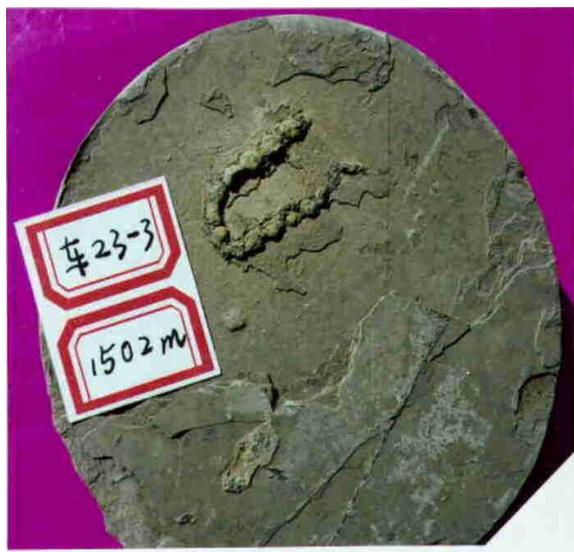
半圆形迹



古网迹



Mermoides 似默米亚迹



Neonereites 新沙蚕迹

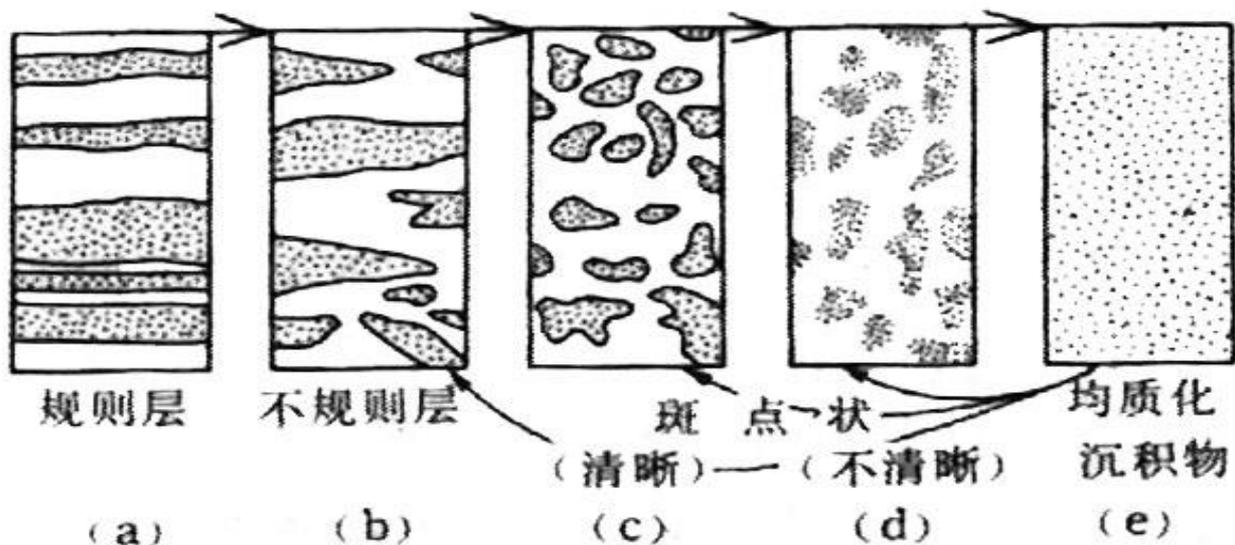


上林泥盆系莲花山组, 雕画迹
一般多在浊积岩中出现

第六节 生物成因构造

二、生物扰动构造

- **概念：**生物搅动构造是指底栖生物的活动造成沉积物层理遭到破坏，同时产生新的具生物活动特征的构造面貌。
- **特征：**斑点构造一般是生物扰动的良好标志。



各种生物扰动构造及其演变



层理砂岩被扰动

第六节 生物成因构造

根据相对于原始沉积组构的改造量而划分的生物扰动等级

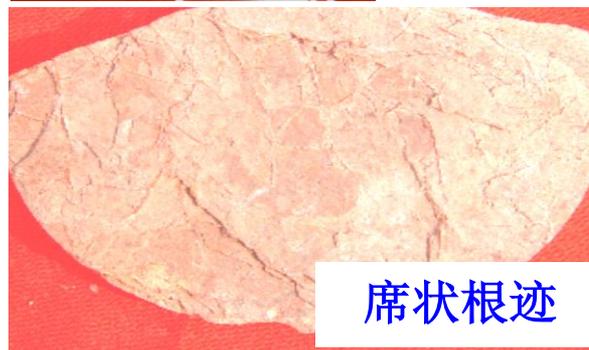
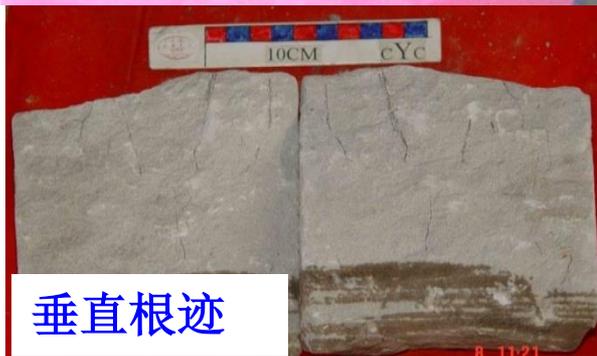
生物扰动构造等级划分表

扰动等级	扰动量 / %	描述
0	0	无生物扰动
1	1~5	零星生物扰动，极少量清晰的遗迹化石和逃逸构造
2	6~30	生物扰动程度较低，层理清晰，遗迹化石密度小，逃逸构造常见
3	31~60	生物扰动程度中等，层理界面清晰，遗迹化石轮廓清楚，叠复现象不常见
4	61~90	生物扰动程度高，层理界面不清，遗迹化石密度大，有叠复现象
5	91~99	生物扰动程度强，层理彻底破坏，但沉积物再改造程度较低，后形成的遗迹形态清晰
6	100	沉积物彻底受到扰动，并因反复扰动而受到普遍改造

第六节 生物成因构造

三、植物根茎

- **概念：**植物根呈炭化残余或枝叉状矿化痕迹出现在陆相地层中，陆相的可靠标志。
- **产状：**煤系地层中特别常见。亦常被铁、钙的碳酸盐所交代。植物根印痕对识别淡水和微咸水环境是有价值的



第七节 碎屑岩的颜色

一、碎屑岩颜色的成因类型

■ 1. 继承色

- 主要取决于碎屑颗粒的颜色，即继承的母岩的颜色。

■ 2. 自生色

- 沉积和早期成岩过程中自生矿物的颜色。

■ 继承色和自生色是碎屑岩的原生色→判断沉积环境

- 红色、黄色→氧化环境；

- 绿色→半氧化环境；

- 灰色、黑色→还原环境。

■ 3. 次生色——不能作为相标志

- 后生或风化作用阶段，新生成的次生矿物造成的颜色。

第七节 碎屑岩的颜色

二、引起碎屑岩不同颜色的原因

- 岩石的颜色 ← 岩石的成分 ← 染色物质（色素）
- 色素离子： Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、S、C（有机碳）
- 1. 暗色（灰、灰黑、黑色）
 - 有机碳、黄铁矿
 - 还原-强还原环境
- 2. 红色（红、紫、紫红、棕色，黄色）
 - 赤铁矿、褐铁矿
 - 自生色—氧化-强氧化环境
- 3. 过渡色（绿、黄绿、灰绿）
 - 海绿石、伊利石、孔雀石
 - 自生色—弱氧化、弱还原
 - 可由绿色的碎屑矿物引起—角闪石、阳起石、绿泥石

第七节 碎屑岩的颜色

◆三、颜色描述方法

- 次要颜色+主要颜色
- 以深浅表色色调
- 深紫红色，浅灰绿色等

本章重点

碎屑岩沉积构造的概念

碎屑岩构造的各种类型、概念、特征、成因、环境意义

流动成因构造 ★★★★★

■ 层理 ★★★★★

■ 波痕、槽模、沟模、渠模、冲刷充填、截切构造
★★★

同生变形构造 ★★

暴露成因构造；

化学成因构造；

生物成因构造★★★★；

小考

一、基本概念解释

1、母岩； 2、风化壳； 3、牵引流； 4、沉积分异作用； 5、机械沉积分异作用； 6、重矿物； 7、碎屑颗粒的圆度； 8、交错层理； 9、板状交错层理； 10、槽状交错层理； 11、粒序层理； 12、波痕； 13、冲刷面； 14、杂基； 15、正杂基； 16、原杂基； 17、胶结物； 18、结构成熟度； 19、成分成熟度； 20、成岩作用； 21、压实作用； 22、同生作用； 23、后生作用； 24、缝合线构造； 25、生物遗迹化石； 26、生物扰动构造。

小考

二、简答题

- 1、简述母岩风化产物的类型及其特征。
- 2、以玄武岩为例，说明母岩的风化作用的过程。
- 3、如何按风化作用由难到易的顺序给下列矿物排队：橄榄石、辉石、石英、钾长石、角闪石、黑云母？简要说明理由。
- 4、简述沉积分异作用的概念和分类。
- 5、简述碎屑岩中常见的胶结物类型及其特征。
- 6、简述碎屑岩中硅质胶结物的主要特征。
- 7、简述3种交错层理构造及其成因。
- 8、简述板状交错层理和槽状交错层理特征其成因。
- 9、简述潮汐成因的交错层理类型及特征。
- 10、列出3种同沉积变形构造并简述其特征。
- 11、简述引起泥岩不同颜色的原因。

三、论述题

- 1、试述陆源碎屑岩各组成部分的特征及沉积学意义。
- 2、论述陆源碎屑岩的形成过程。