第五章-1
沉积环境的主要判别标志

第一节　沉积构造标志
第二节　岩石结构和粒度标志
第三节　岩矿成份和地球化学标志
第四节　判别沉积环境的生物标志
第五节　古水流的判别标志及其环境意义

第一节　沉积构造标志
　一、沉积构造的概念及分类
　二、物理成因的沉积构造
　三、化学成因的沉积构造
　四、生物成因的沉积构造



一、沉积构造的概念及分类

沉积环境（相）分析：对指示环境的标志进行分析，与沉积环境模式进行比较，从而恢复古代沉积环境的方法。

成因标志：指具有成因意义，能反映其形成环境条件的各种特征。包括沉积岩的颜色、成分、结构、构造、化石、古生态、接触关系、沉积序列（剖面）以及沉积岩体的形态分布等，但概括起来可归属为物理的、化学的、生物的三方面标志。

沉积构造：由沉积物的颜色、成分、结构的不均一性而形成的岩石宏观特征。其规模一般较大，多在野外露头上及岩芯中可直接进行观察和测量。

根据其形成时间划分为：原生沉积构造和次生沉积构造。

根据沉积构造的成因性质可分为三类：

物理成因的沉积构造

化学成因的沉积构造

生物成因的沉积构造

原生沉积构造：沉积物沉积时、沉积后不久、固结前形成的构造。能反映沉积时的沉积介质类型和能量条件。是判别沉积相（沉积环境）的重要标志。

次生沉积构造：在沉积物压实或成岩过程中生成的沉积构造，它反映成岩环境。

物理成因的沉积构造：在流体流动、重力等物理因素作用下而产生的沉积构造（原生）。

化学成因的沉积构造：由结晶、溶解、沉淀等化学作用形成的沉积构造， 其中，大多数是在沉积物压实和成岩过程中生成的, 属于次生沉积构造。

生物成因的沉积构造：生物活动或生长而形成的构造（原生）。

表 5-1　沉积构造分类

物理成因构造				化学成因构造		生物成因构造	
流动构造	层面构造	顶面构造	波痕，细流痕，剥离线理	结晶构造	晶痕和假晶，鸟眼构造，示顶底构造	生物遗迹构造	足迹，爬迹，停息迹，潜穴，钻孔
		底面构造	冲刷痕，压刻痕	压溶构造	缝合线构造，叠锥构造		
	层理构造	简单层理	水平层理，平行层理，交错层理，爬升波痕层理，递变层理，均匀层理	增生与交代构造	结核构造，葡萄状构造	生物扰动构造	
		复合层理	脉状、波状及透镜状层理，砂泥岩互层水平层理，韵律层理			生物生长构造	植物根痕
	再作用面构造						
准同生变形构造	负载构造，球状、枕状构造，包卷层理，滑塌构造，砂岩脉，喷出构造，碟状构造						
暴露构造	干裂，雨痕，冰雹痕，泡沫痕						

（据沉积构造与环境解释编写组，1984，略加修改）

第一节　沉积构造标志

一、沉积构造的概念及分类

二、物理成因的沉积构造

三、化学成因的沉积构造

四、生物成因的沉积构造

一、沉积构造的概念及分类
二、物理成因的沉积构造

（一）流动构造

（1）层面构造

1. 波痕

2. 细流痕

3. 剥离线理

4. 冲刷痕

5. 压刻痕

（2）层理构造

1. 层理构造的术语

2. 层理构造的类型

（3）再作用面构造

（二）准同生变形构造

（三）暴露构造

（一）流动构造

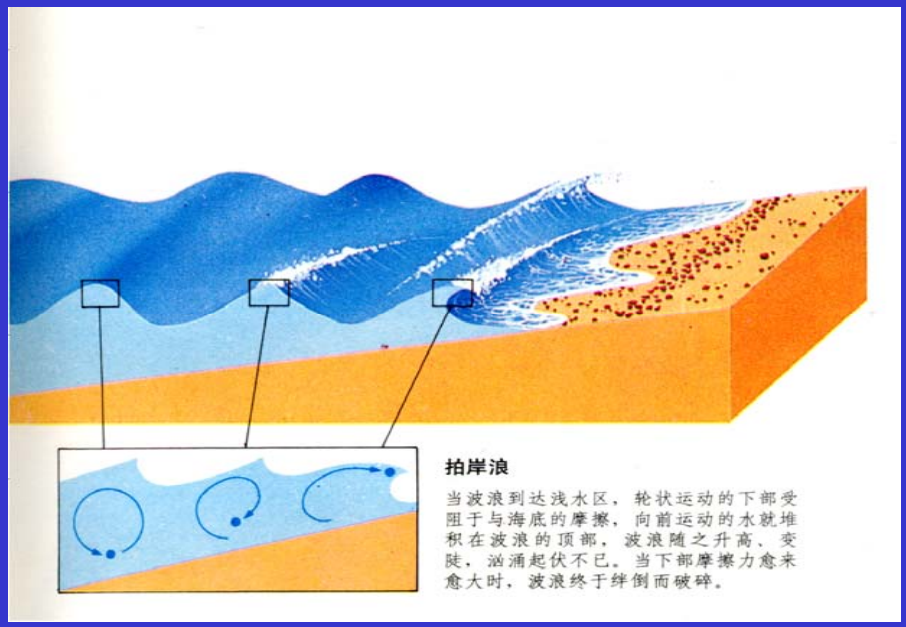
是沉积物在搬运和沉积过程中，由于介质的流动而在沉积物表面或内部形成的构造。流动构造是最重要和最常见的沉积构造。

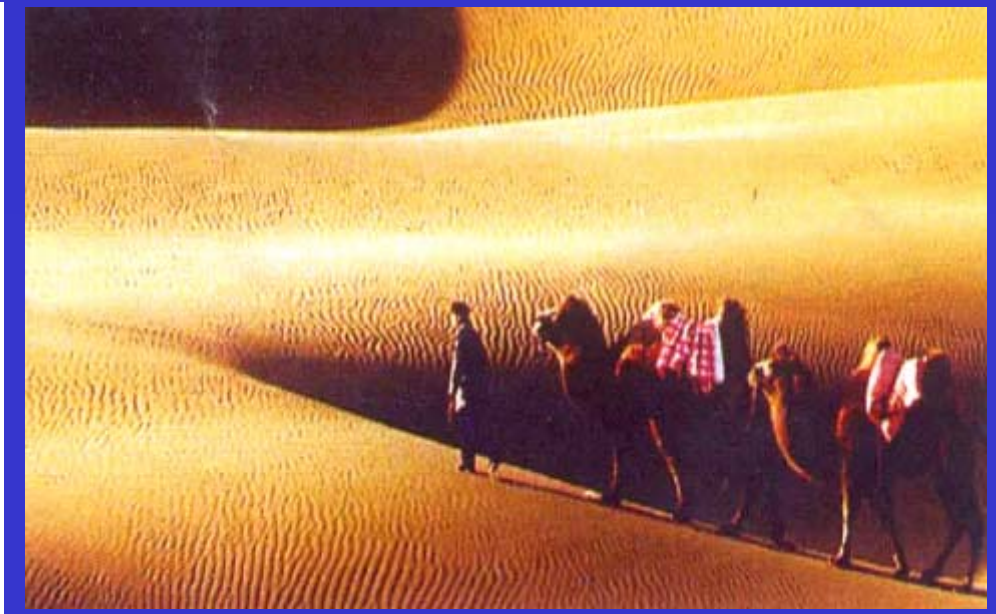
1、层面构造

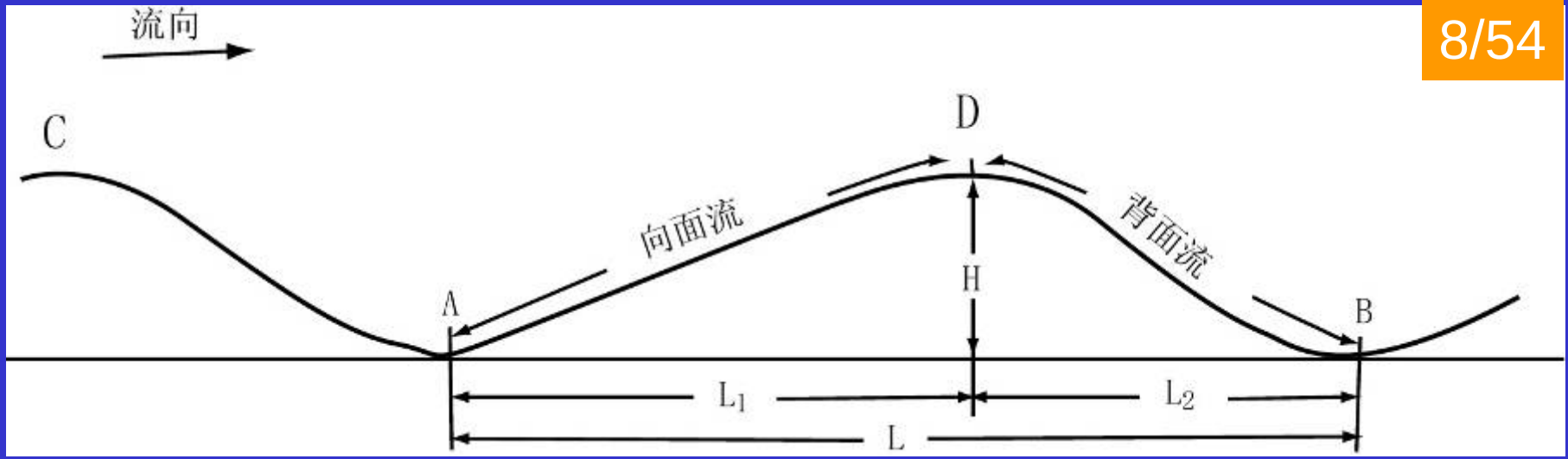
在沉积岩的顶面或底面上形成的构造。如：波痕、细流痕、剥离线理、冲刷痕、压刻痕。

波痕

由水流、波浪或风的作用，在沉积物表面形成的波状起伏痕迹。







波痕形态要素

脊点（C, D）：最高点

谷点(A, B)：最低点

向流面：面向流动方向的缓倾斜面

背流面：背向流动方向的陡倾斜面

波长（L）：相邻的两个脊点之间的水平距离

波高（H）：波痕的脊点与谷点之间的垂直距离

波痕指数（RI）：波长与波高之比（L/H）

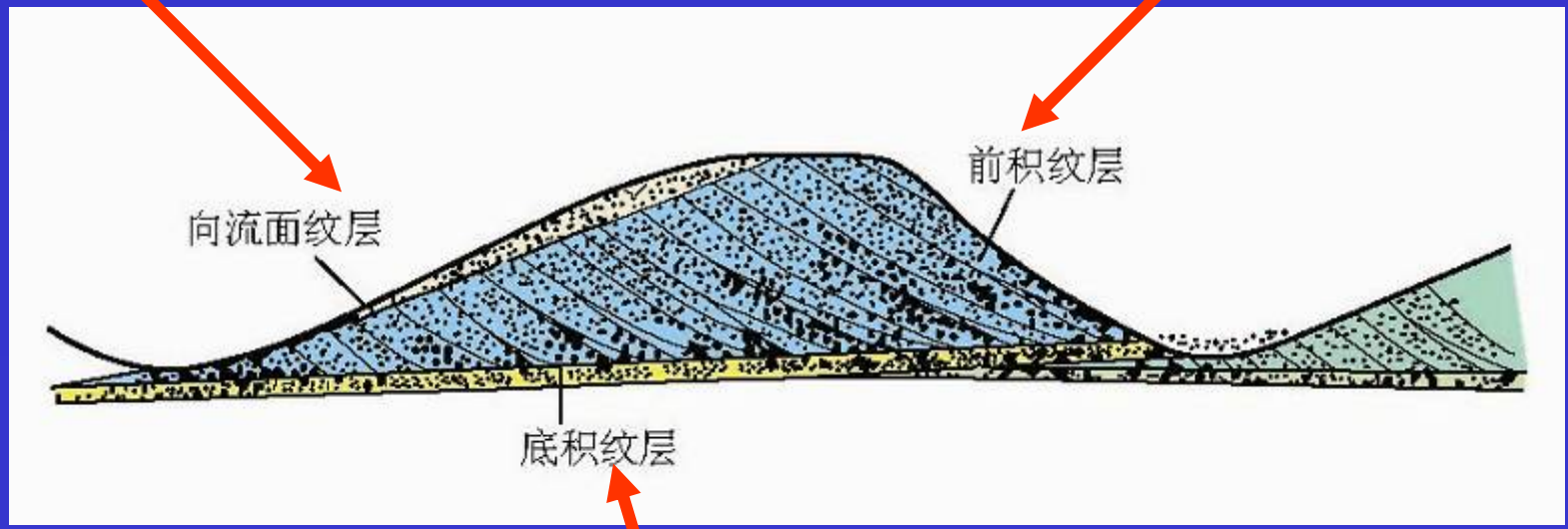
对称指数（RSI）：向流面水平投影长度与背流面水平投影长度之比（L1/L2）

波痕的内部构造及形成机理

一个波痕包括:
向流面纹层
前积纹层
底积纹层

侵蚀和搬运为主，由较细物质沉积形成

当介质流过波脊，水流的扩散和减速，沉积物堆积在背流面近脊部，并在重力影响下发生塌落。



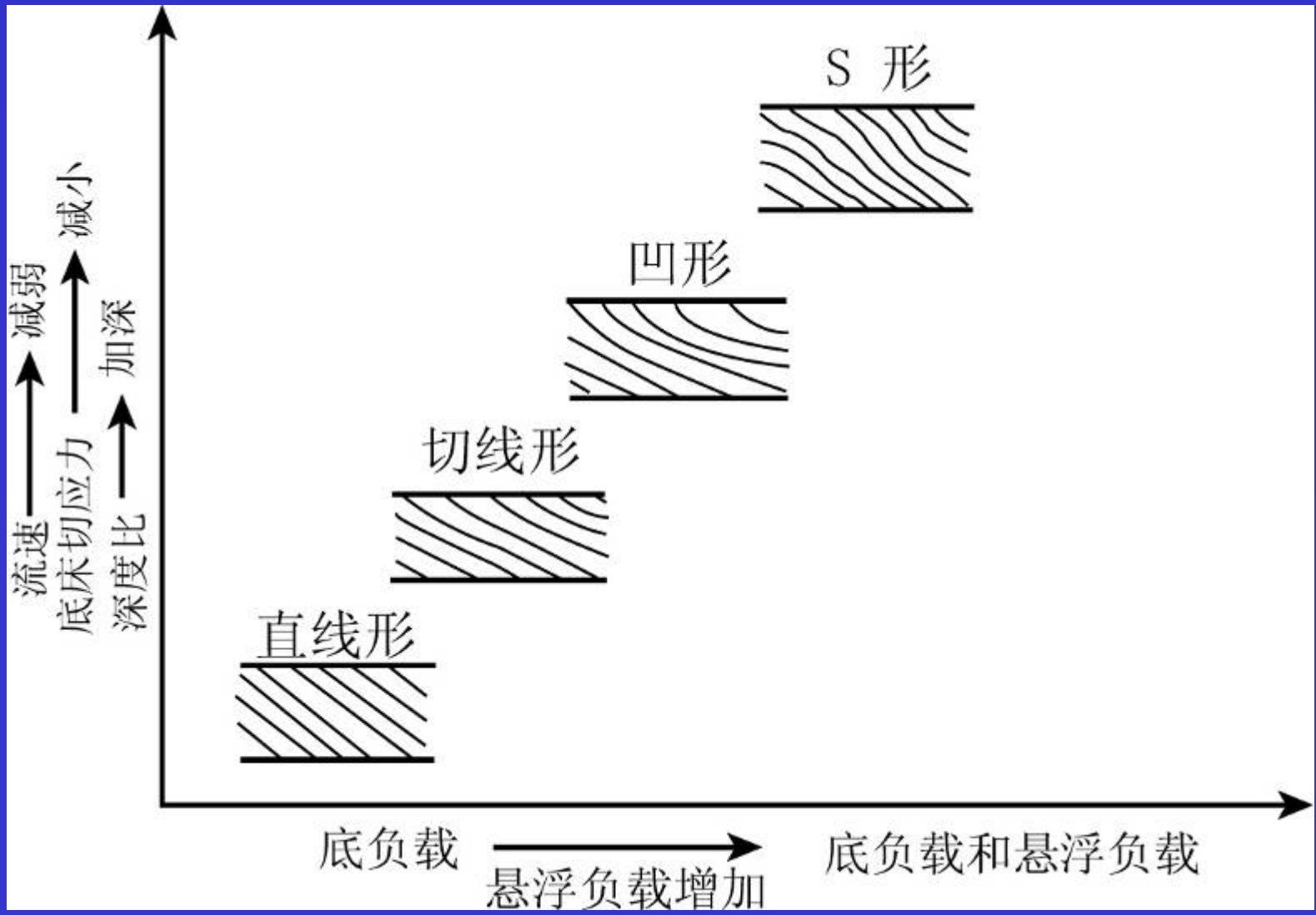
越过波脊的悬浮物质沉降而形成。

波痕实例



前积纹层形态及其控制因素

随介质能量的减弱和悬浮载荷的增加，前积纹层形态：直线型→切线型→凹型→S型



波痕的类型：波痕的大小、形态、对称性、介质类型各有不同。按介质类型分为：

A. 水流波痕;

B. 波浪波痕;

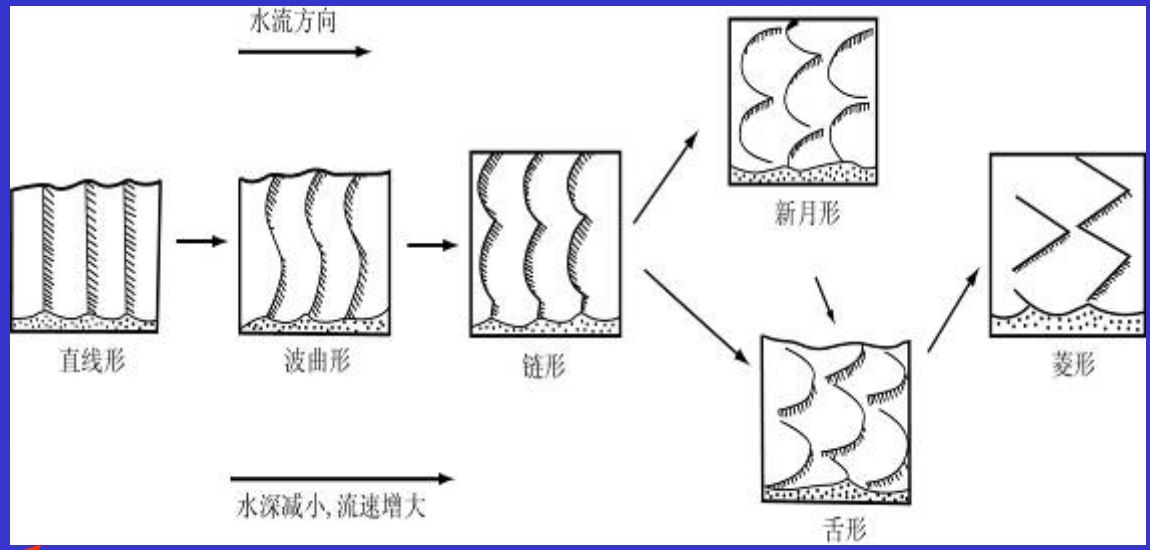
C. 干涉波痕和改造波痕;

D.弧立波痕;

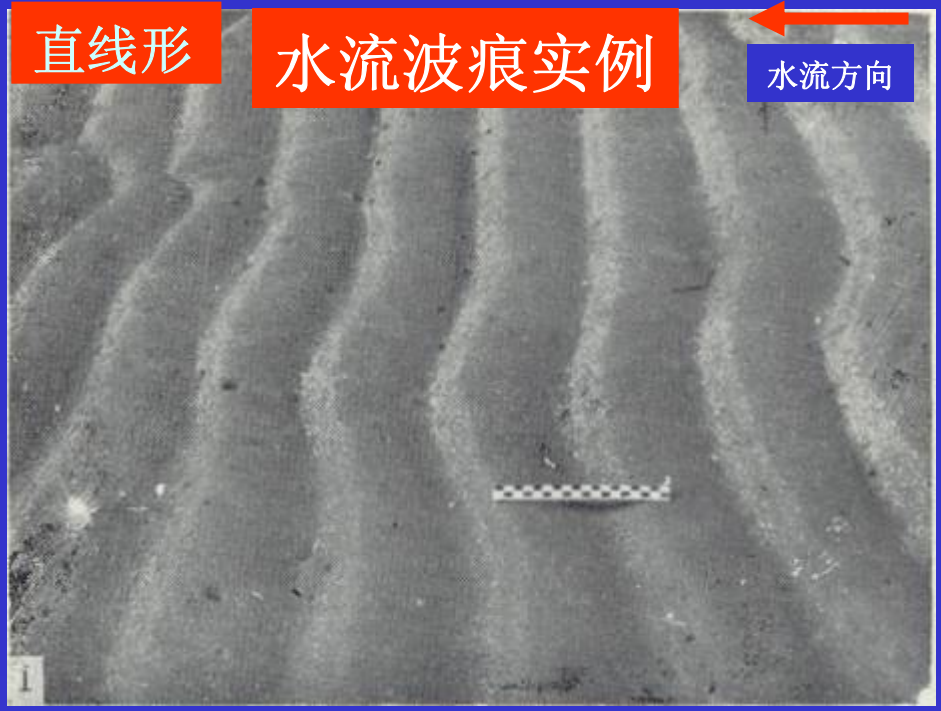
E.风成波痕

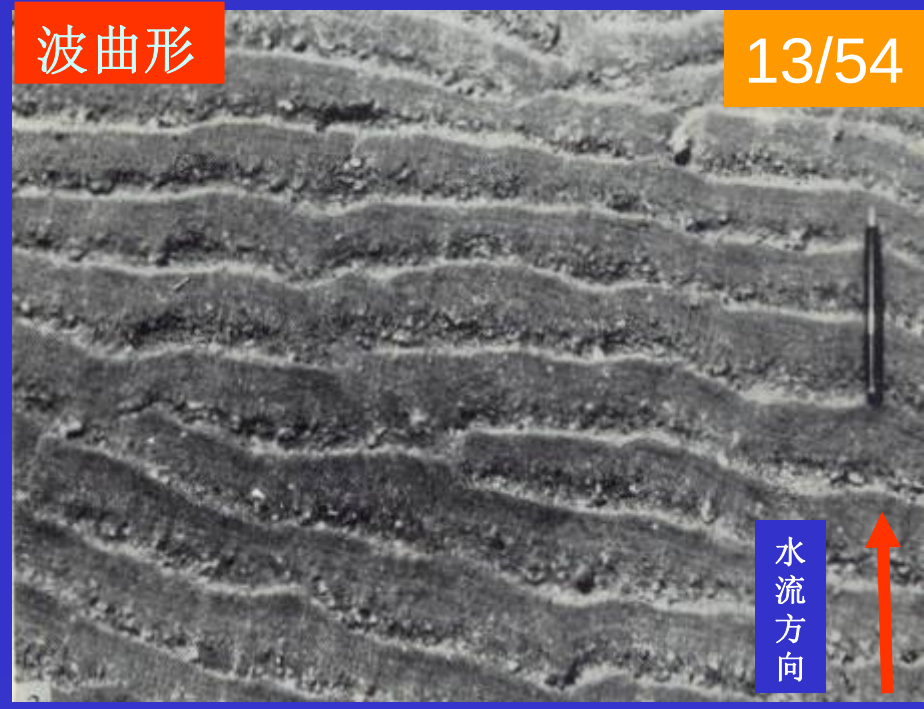
A. 水流波痕（由单向水流产生）

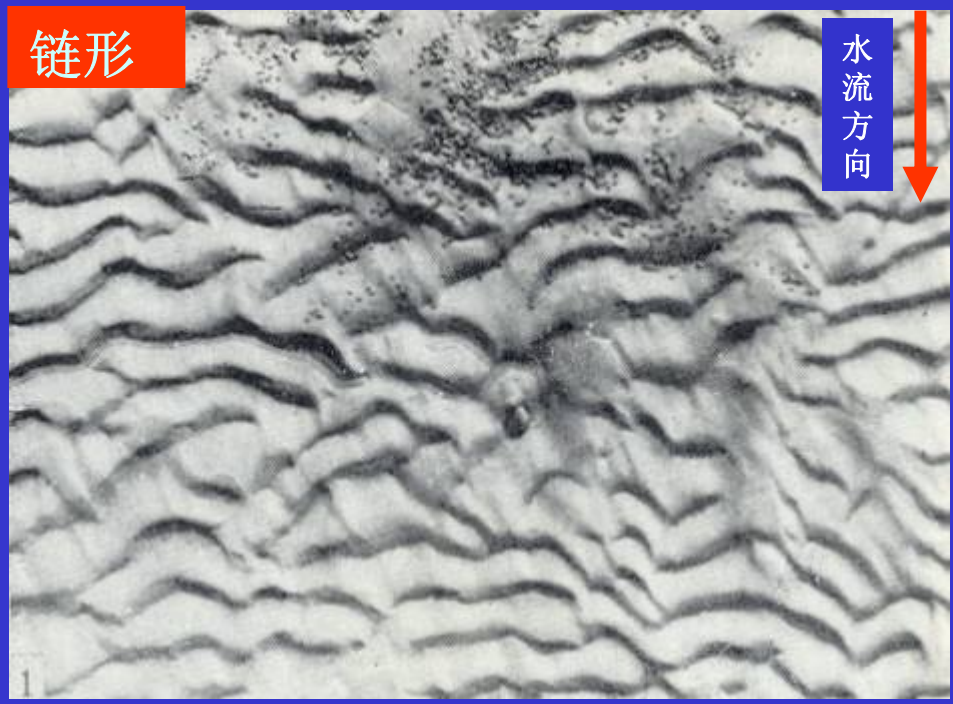
按大小，分4类：小型水流波痕、大型水流波痕、巨型水流波痕、逆行砂丘。

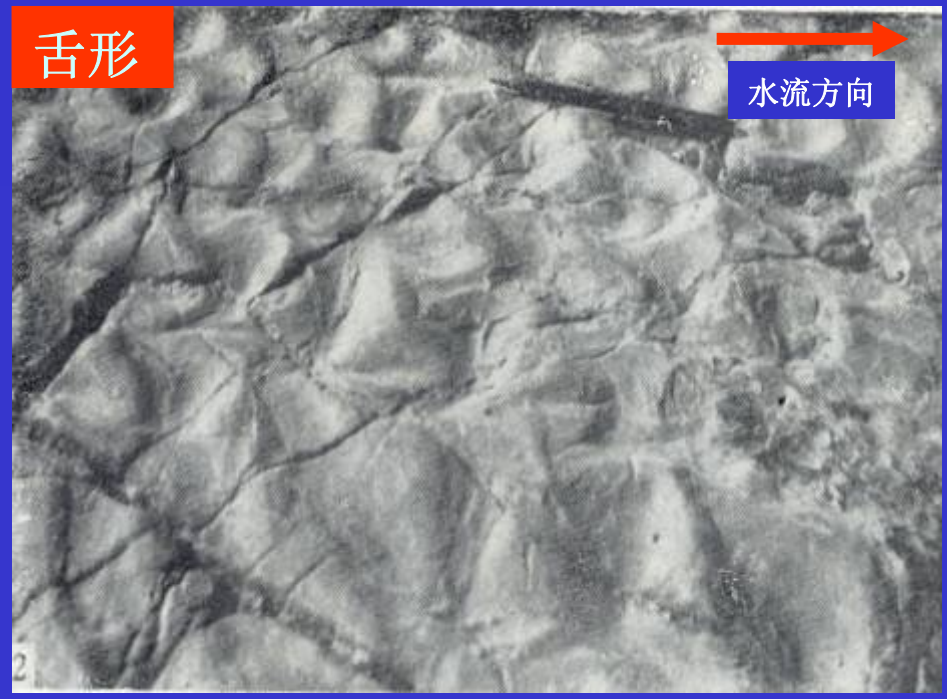


按波脊形态，分为5－6类：随水深减小和流速增大，直线形→ 波曲形→链形→舌形→ 新月形→菱形。


直线形
水流波痕实例
水流方向


波曲形
13/54
水流方向


链形
水流方向


舌形
水流方向


多向波痕

水流波痕按大小分为：

大型水流波痕：波长60～30cm, 波高为6～1.5m，波痕指数大于15。主要产生于中、粗粒床沙中。

巨型水流波痕：波长大于30m，波高可达数米，波痕指数大于30。波脊以直线形为主，多分布在较深的浅海和大型河流中。

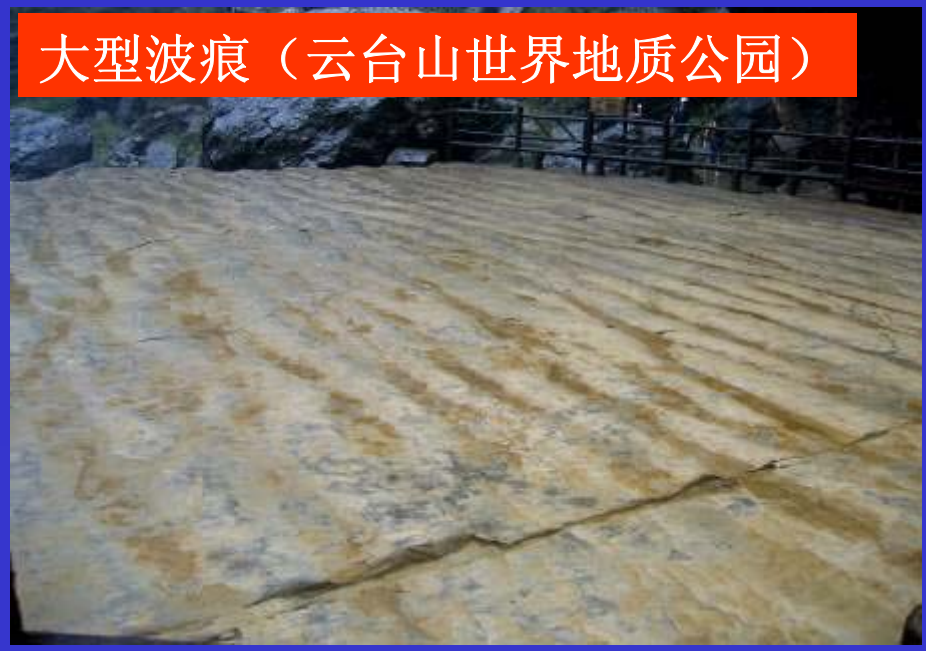
逆行砂丘：浅水急流(Fr>1)，其水面波形与底形波痕一致（属同相波），与一般波痕形成作用相反，背流面一侧侵蚀，向流面一侧进行堆积。所以实际上它是向上游方向移动的，故称为逆行沙丘。它多见于海滩、潮坪、河流环境。

大型水流波痕





大型波痕（云台山世界地质公园）



B、波浪波痕

是由波浪作用于床沙表面而产生的波痕，据其对称程度可分为：对称波浪波痕和不对称波浪波痕。

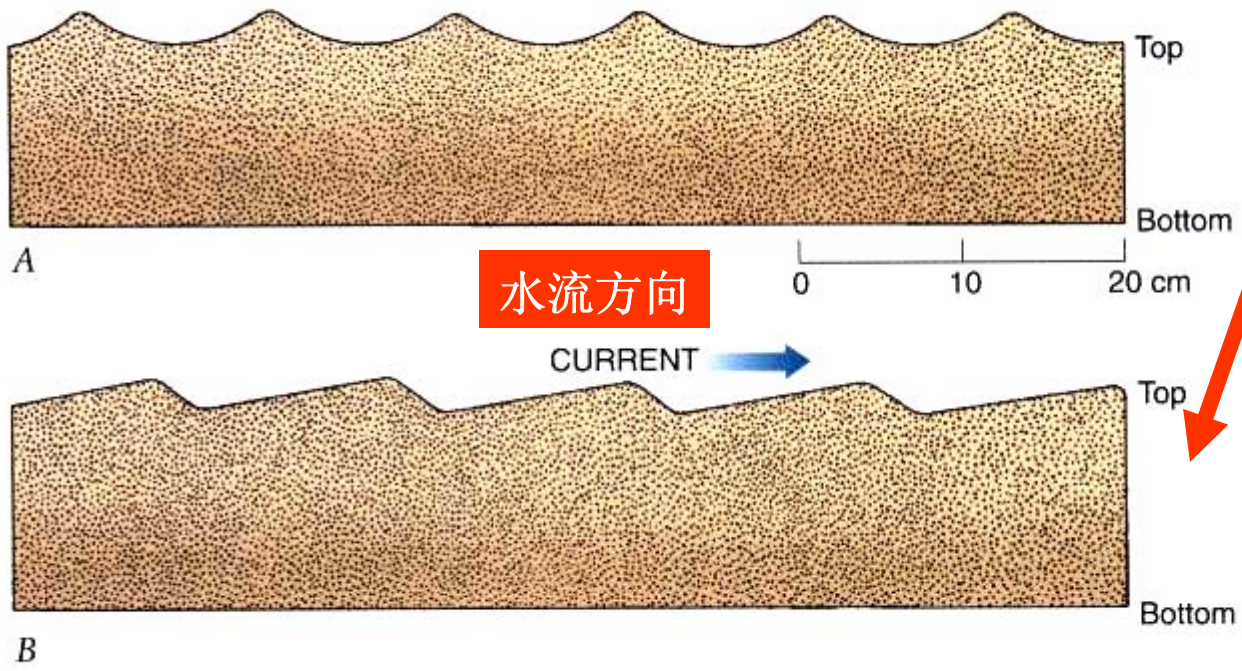
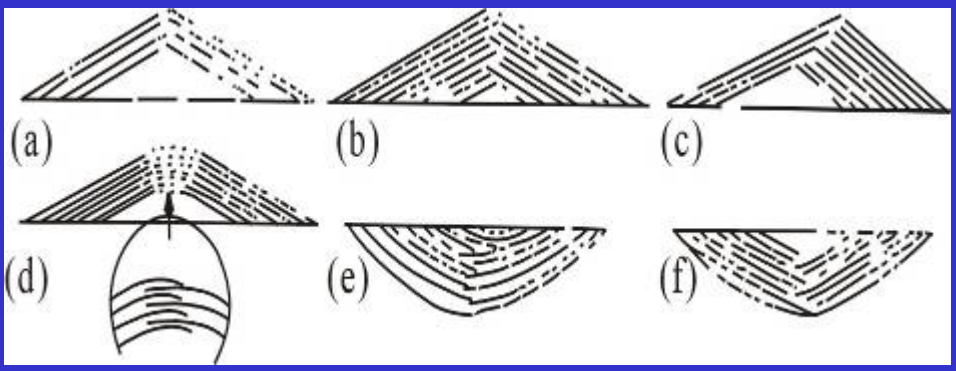
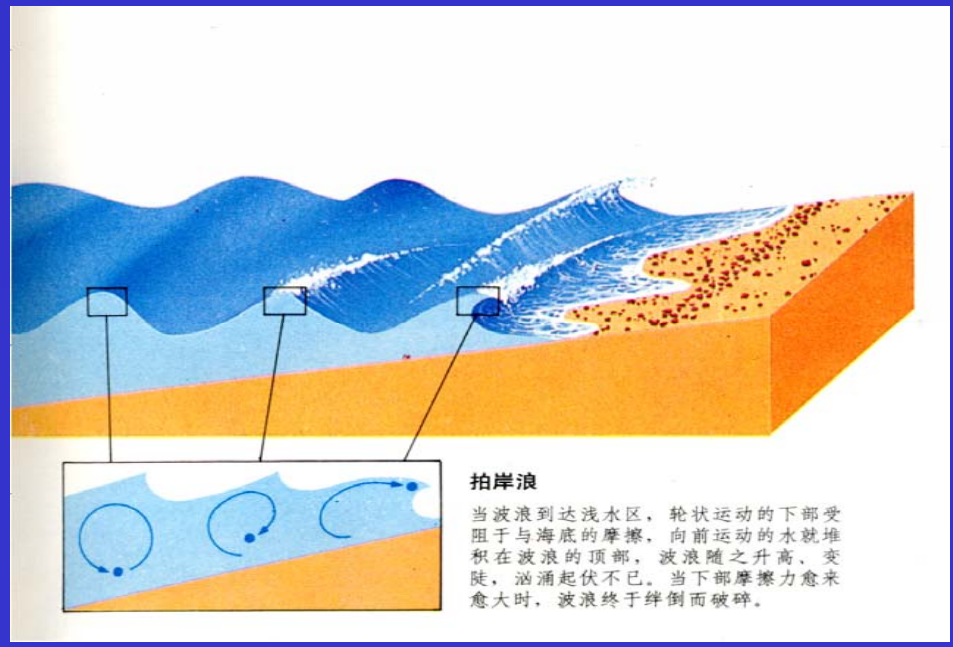


FIGURE 3-21 **Profiles of ripple marks.** (*A*) Symmetric ripples. (*B*) Asymmetric ripples.



对称波浪波痕：是由水体振荡运动形成、流体质点在表面呈园形轨道，向下变为来回运动，反复作用结果形成“人”字形内部构造和对称形态。







不对称波浪波痕：是由水体运动时往复速度不同而造成的。在滨岸地区，由于水体运动受海底摩擦作用的影响，波浪向陆的速度大于向海运动的速度，故波痕形成方式和单向水流的波痕相似，内部只有一个方向的前积层。可以按直线形流水波痕的描述方法进行。





不对称浪成波痕和水流波痕的区别：

①浪成波痕的波脊多出现分叉与会合的特点, 水流波痕波脊则多中断并被别的脊代替；

②浪成波痕的波长多小于**4.5cm**, 波痕指数（**RI**） **<15**, 而水流波痕的**RI>15**, 浪成波痕的对称指数**RSI <3.8**, 而水流波痕的**RSI >3.8**；

③浪成波痕的前积纹层往往表现为成束的分枝状, 并且通过波谷延伸到相邻波痕的翼部上。

C.干涉波痕和改造波痕

干涉波痕：浅水区不同方向的波浪或水流，同时或基本同时地联合作用形成干涉波痕。由于作用强度、方向、先后不同，形成格子状、梯状、网格状状等干涉波痕 。

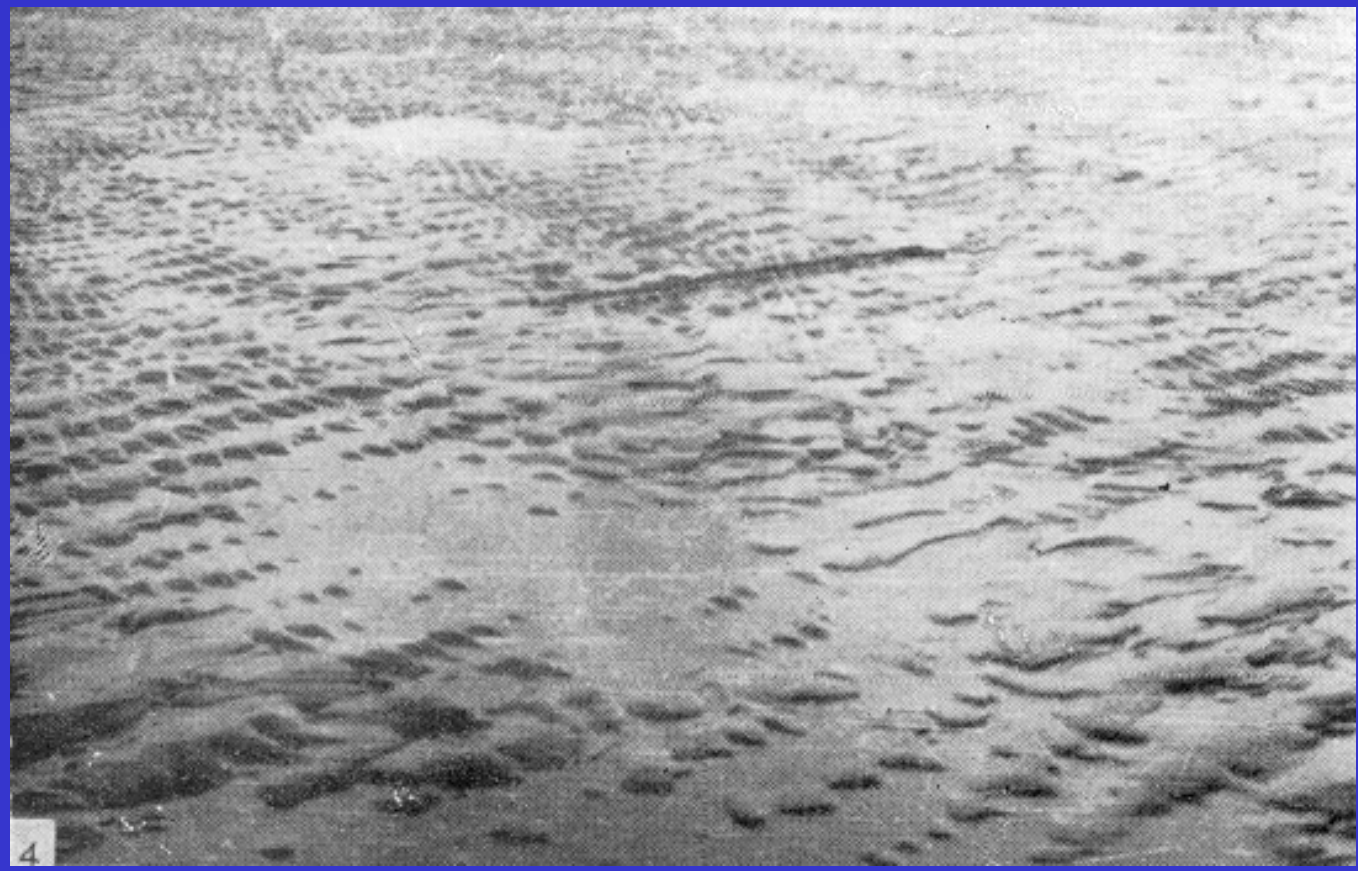
改造波痕：在水流及浪基面变化的情况下，先生成的波痕受到改造而形成改造波痕，如双脊波痕，削顶波痕。

干涉波痕和改造波痕常出现于前滨或潮间带。

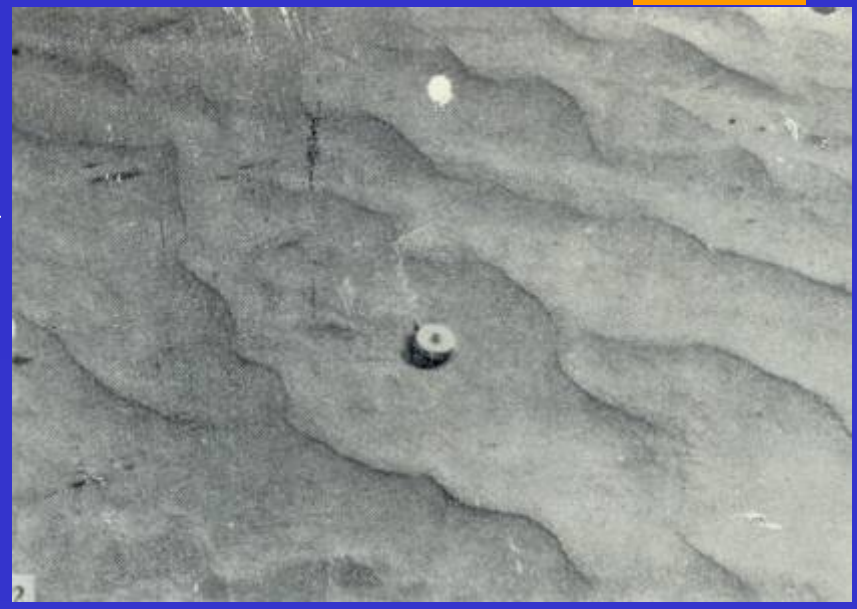




D. 孤立波痕： 在泥质物表面上由于沙供应不足而形成的不连续底形，弧立波痕与正常波痕相似，但它们发育不全，波高较低，因此波痕指数较大，构成透镜状层理。



E. 风成波痕：有直、长而平行的脊，形态不对称。**L=2.5－25cm, H=0.5－1cm, RI=10－70**。其内部构造和水流波痕相似，但内部构造不清楚（砂为主），粗颗粒分布在波脊。发育于沙漠、海岸、干旱—半干旱气候下的河流等环境。









▲沙漠巨龙





表 5—2　波痕的成因分类及其主要特征

（据《沉积构造与环境解释》，1984）

名称		波脊形态	波长	波高	波痕指数	对称性
水流波痕	小波痕	直线形，波曲形，链形，舌形，菱形	4—60cm	0.3—6cm	大于5，多数在8—15	不对称
	大波痕	直线形，波曲形，新月形，舌形，菱形	0.6—30m	0.06—1.5m	多数大于30	不对称或对称
	巨波痕	直线形，波曲形	30—1000m	1.5—15m	多数大于30	不对称或对称
	逆行沙丘	直线形	0.01—6m	0.1—45cm		近于对称
浪成波痕	对称浪成波痕	直线形，部分分叉	0.9—200cm	0.3—23cm	4—13，多数为6—7	对称
	不对称浪成波痕	直线形，部分分叉	1.5—105cm	0.3—20cm	5—16，多数为6—8	不对称 RSI=1.1—3.8
孤立波痕	孤立小水流波痕	直线形，波曲形，舌形	类似小波痕	比小波痕低	比小波痕大	不对称
	孤立大水流波痕	直线形，波曲形，新月形	类似大波痕	比大波痕低	比大波痕大	不对称
	孤立浪成波痕	直线形	类浪成波痕	比浪成波痕低	比浪成波痕大	对称或不对称
干涉波痕	波浪—波浪干涉波痕	变化多端				
	波浪—水流干涉波痕	变化多端				
	纵向波痕	直线形，平行于水流方向延伸				对称或略为不对称
	横向波痕	圆形，垂直于水流方向延伸				不对称或对称
改造波痕		双脊，圆顶，平顶等				
风成波痕		直线形，部分分叉	2.5—25cm	0.5—1cm	10—50以上	不对称

A-3(waverip,单向水流波痕作用).mov —“见动画”

表 5—3　不同沉积环境中波痕的分布

（据《沉积构造与环境解释》，1984）

环境 \ 波痕类型	小水流波痕	大水流波痕	逆行沙丘	浪成波痕	孤立波痕	干涉波痕	改造被痕
河　流	++	++	−	−	+	0	−
湖　滨	+	0	−	++	+	+	+
湖　泊	−	0	0	+	−	0	0
泻　湖	−	0	0	+	−	−	−
三角洲	++	+	0	++	++	−	−
潮　坪	++	+	−	++	++	++	++
海　滩	+	+	+	++	+	++	++
临　滨	+	+	0	+	−	0	0
陆　棚	+	+	0	−	−	0	0
浊　流	+	−	−	0	0	0	0

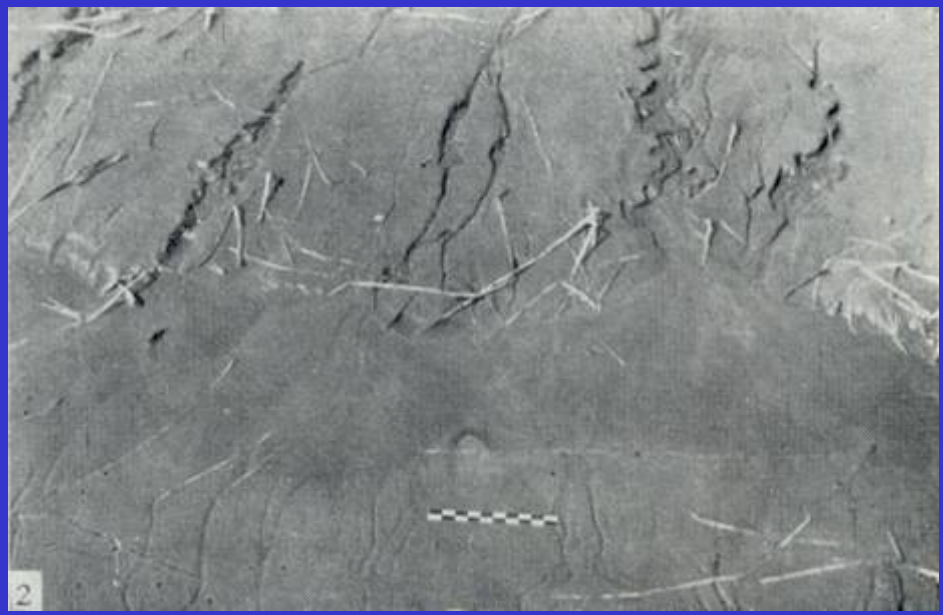
++：丰富　+：常见　-：罕见　0：缺乏

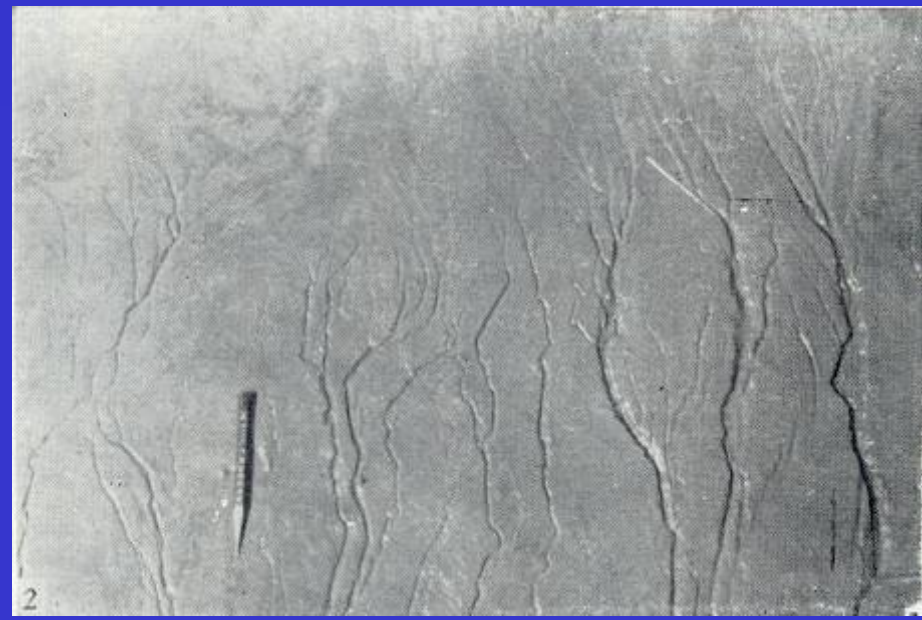
层面构造
1. 波痕
2. 细流痕
3. 剥离线理
4. 冲刷痕
5. 压刻痕

2. 细流痕

由细小水流的刻蚀作用所形成的表面侵蚀痕迹。当沉积物表面暴露时，水便从沉积物中溢出，形成细水流，侵蚀而形成细流痕。

细流痕具有不同的形状，如树枝状、网状。指示沉积物表面间歇短期暴露。常见于潮间带、海滩、湖滨、泛滥平原。



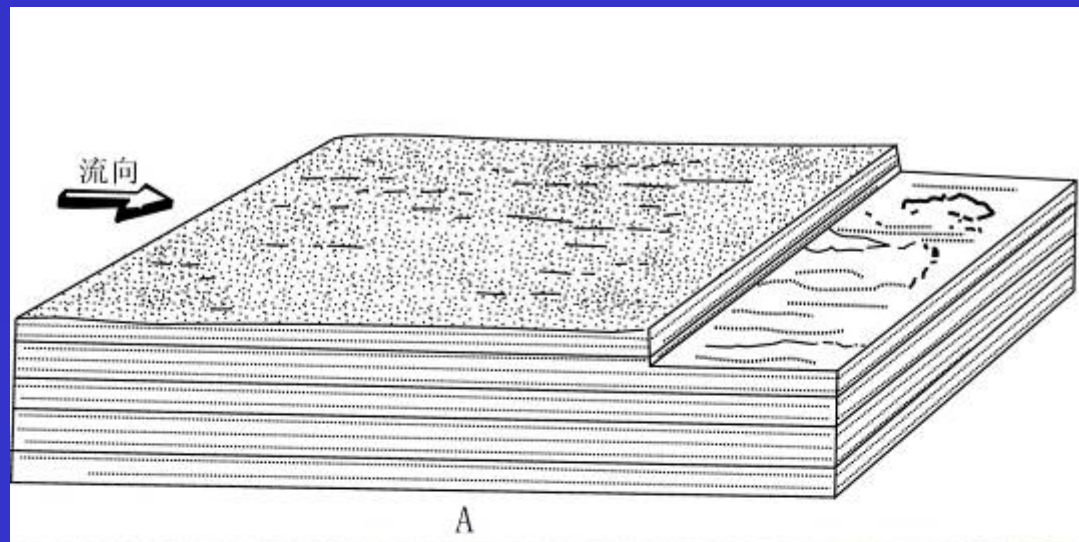


层面构造
1. 波痕
2. 细流痕
3. 剥离线理
4. 冲刷痕
5. 压刻痕

3. 剥离线理

彼此平行的线状浅沟和低脊或颗粒弱定向排列而成。

与平行层理伴生出现，即分布在平行层理的层面上，是急流环境的良好标志。分布于海滨、湖滨、三角洲平原和浊流沉积中。



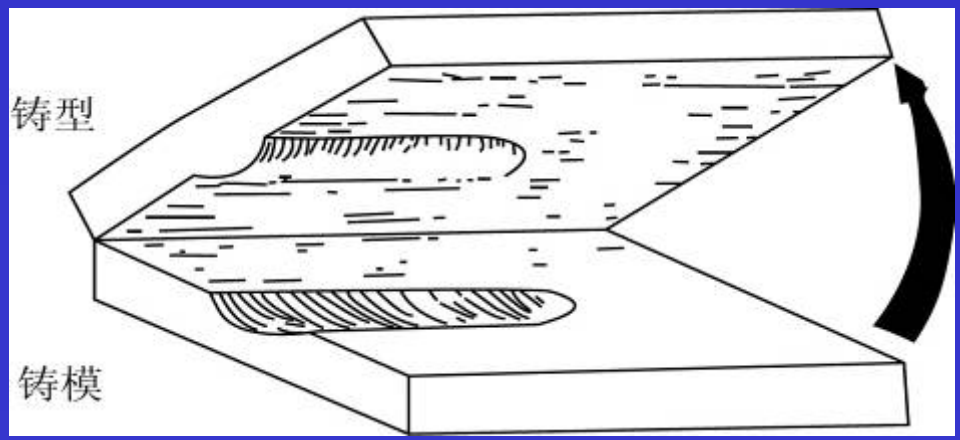
A

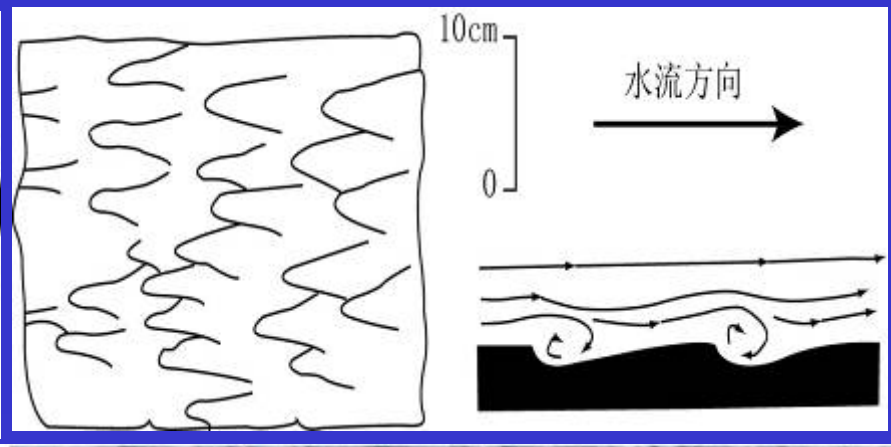


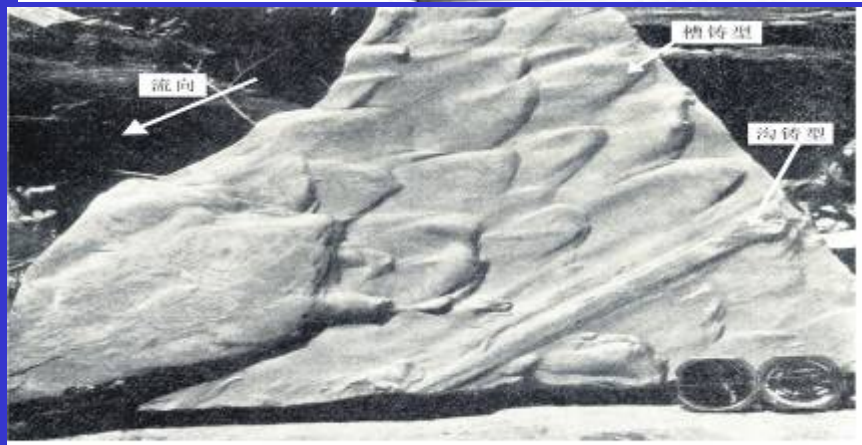
B

4. 冲刷痕： 水流在泥质沉积物表面冲蚀出来的痕迹称为冲刷痕，风化露头上，在其上覆砂岩层的底面以凸起的铸型保留下来。包括槽铸型（槽痕）、纵向脊（沟铸型）。

槽铸型： 由舌状突起体组成，突起的上游一端呈浑圆状，突起稍高，向下游端变宽和变缓。大量发育于浊流环境中，是良好的古流向标志。







A



B

纵向脊（沟铸型）

由一系列平行水流方向的紧密排列的连续低脊。





第一节　沉积构造标志

一、沉积构造的概念及分类

二、物理成因的沉积构造

（一）流动构造

（1）层面构造

1. 波痕

2. 细流痕

3. 剥离线理

4. 冲刷痕

5. 压刻痕

（2）层理构造

1. 层理构造的术语

2. 层理构造的类型

（3）再作用面构造

（二）准同生变形构造

（三）暴露构造

5. 压刻痕

水流携带的物体在松软的沉积物表面运动时所刻蚀出来的痕迹（工具痕）。可分为：沟痕(铸型)、V型痕(铸型)、戳痕(铸型)、弹跳痕(铸型)。

最常见的是沟痕，它是物体在沉积物表面连续刻划而形成的沟，在上覆砂岩底面保存铸型。压刻痕主要见于河流环境。

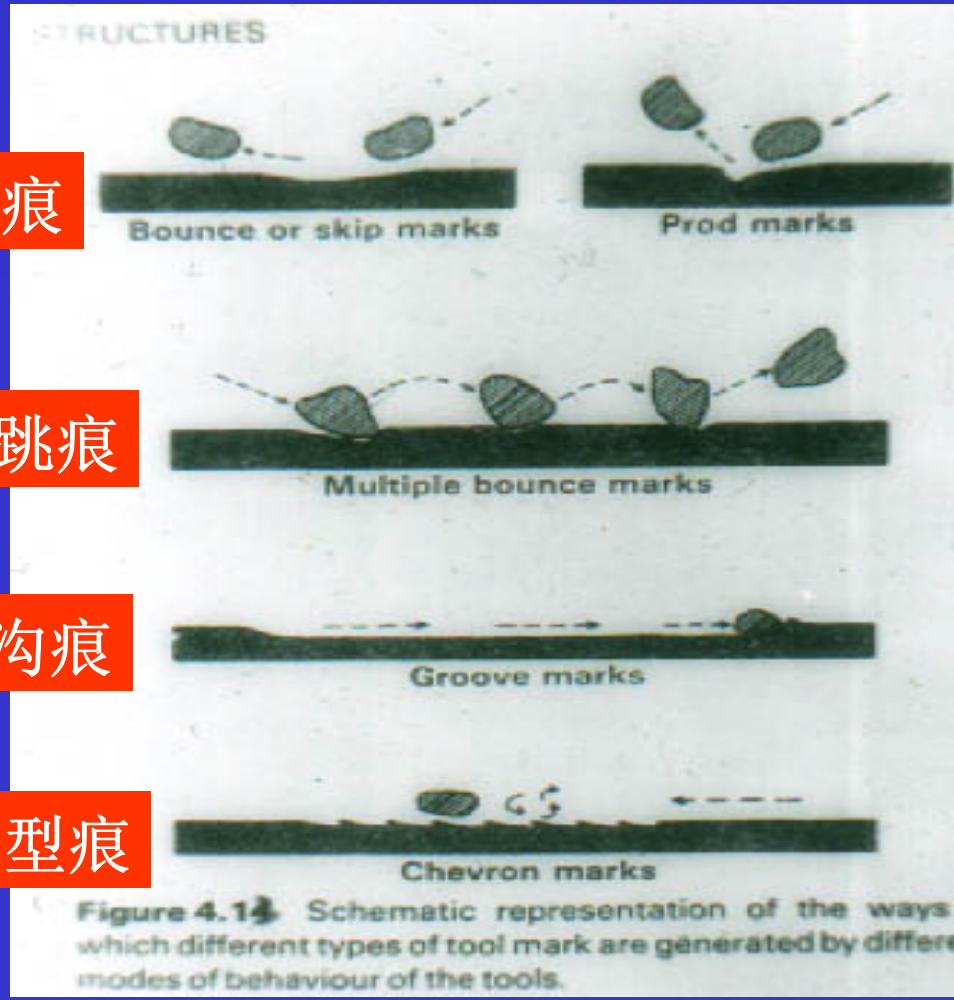


Figure 4.14 Schematic representation of the ways which different types of tool mark are generated by differe modes of behaviour of the tools.

第五章-1
沉积环境的主要判别标志（结束）

第一节　沉积构造标志

一、沉积构造的概念及分类

二、物理成因的沉积构造

（一）流动构造

（1）层面构造

1. 波痕
2. 细流痕
3. 剥离线理
4. 冲刷痕
5. 压刻痕

（2）层理构造

1. 层理构造的术语
2. 层理构造的类型

（3）再作用面构造

（二）准同生变形构造

（三）暴露构造



第五章-2
沉积环境的主要判别标志

第一节　沉积构造标志

一、沉积构造的概念及分类

二、物理成因的沉积构造

三、化学成因的沉积构造

四、生物成因的沉积构造

一、沉积构造的概念及分类

二、物理成因的沉积构造

（一）流动构造

（1）层面构造

（2）层理构造

1. 层理构造的术语

2. 层理构造的类型

（3）再作用面构造

（二）准同生变形构造

（三）暴露构造

层理构造

层理构造定义：垂直于层面方向，由沉积物的成分、颜色、粒度等显示出来的纹理特征。







1. 层理构造的术语

组成层理构造的单位包括：
纹层（细层）、层系（单层）、层系组（层组）

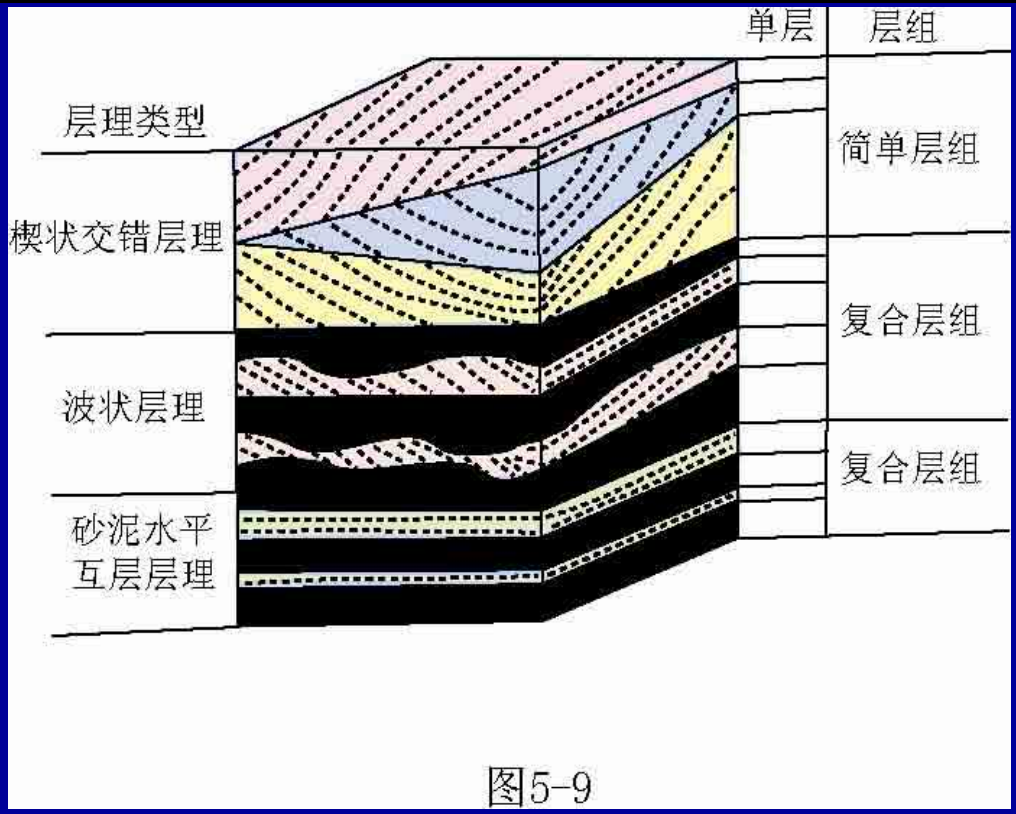


图5-9

纹层： 最小单元，其上、下被纹层面所限，一个纹层有比较均一的成分和结构，厚度1mm到数毫米，纹层断面有直线形、切线形、凹形、S形，纹层与层面的关系可以是平行的，也可是斜交的。

层系： 基本单元，由形状相似的纹层组合而成。层系内成分和结构也较一致或具粒序。相邻的层系被层理面（或层面）分开。

层理面代表最小级别的沉积间断面。层理面可以是平行的或倾斜的，层系厚度数毫米到数米，它们是在物理条件大致不变的情形下形成的。

层系组： 由2个或2个以上的层系组成，相邻层组以层系组面（岩层面）为界，代表比层理面间断面时间稍长的间断面。测量地层产状的面，分层面。

层理的分类

♣按成分层和结构，分为简单层理和复合层理

简单层理：由2个或2个以上成份相似的层系（层理）叠置而成。如交错层理。

复合层理：由2个或2个以上成份不同，但成因上有联系的层系（层理）组成。如脉状、波状、透镜状层理。

♣按综合因素，分为：

1）交错层理
2）爬升波痕层理
3）递变层理
4）平行层理
5）水平层理
6）均匀层理
7）脉状、波状、透镜状层理
8）砂泥互层水平层理
9）韵律层理

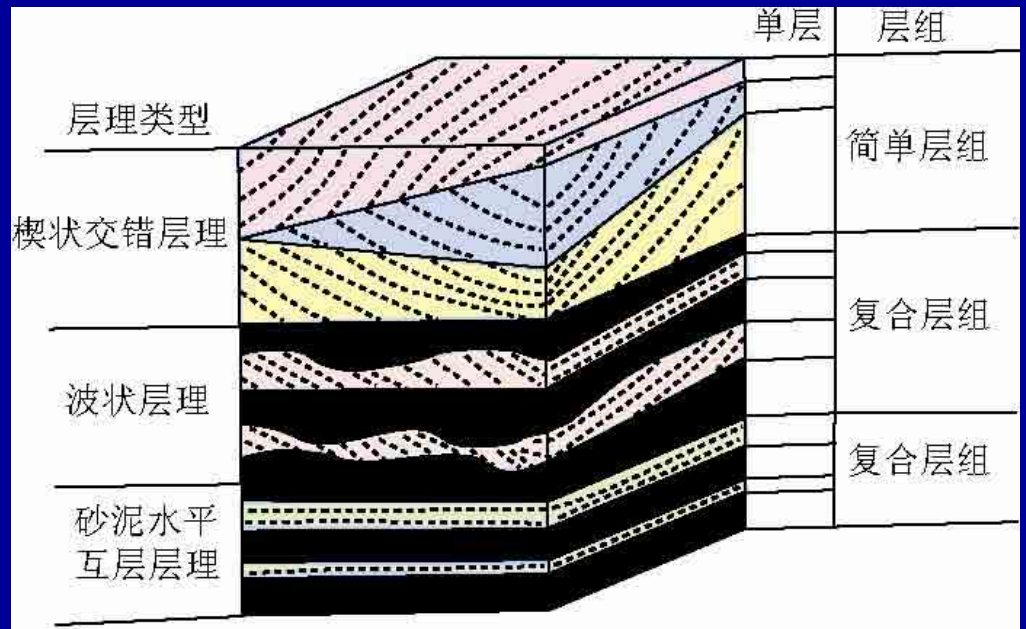


图5-9

1）交错层理

由一系列与层理面斜交的纹层组成的沉积单元，主要见于碎屑岩和颗粒碳酸盐岩中，是高能的产物。交错层理的分类：

根据交错层理单位大小（即层系厚度）分为：

小型交错层理：层系厚度小于5cm

大型交错层理：层系厚度5cm－1m

根据交错层理单位的界面分为：

板状、楔状、槽状、波状交错层理。

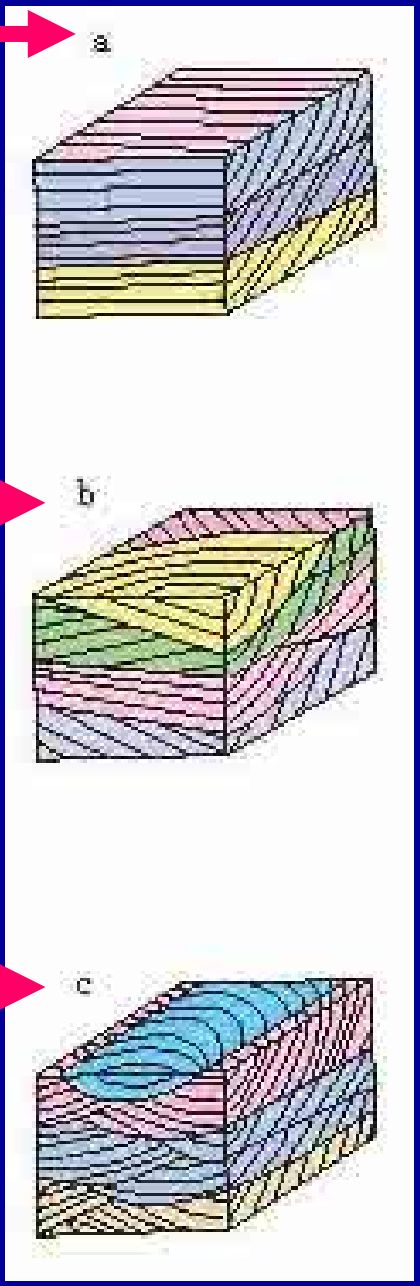


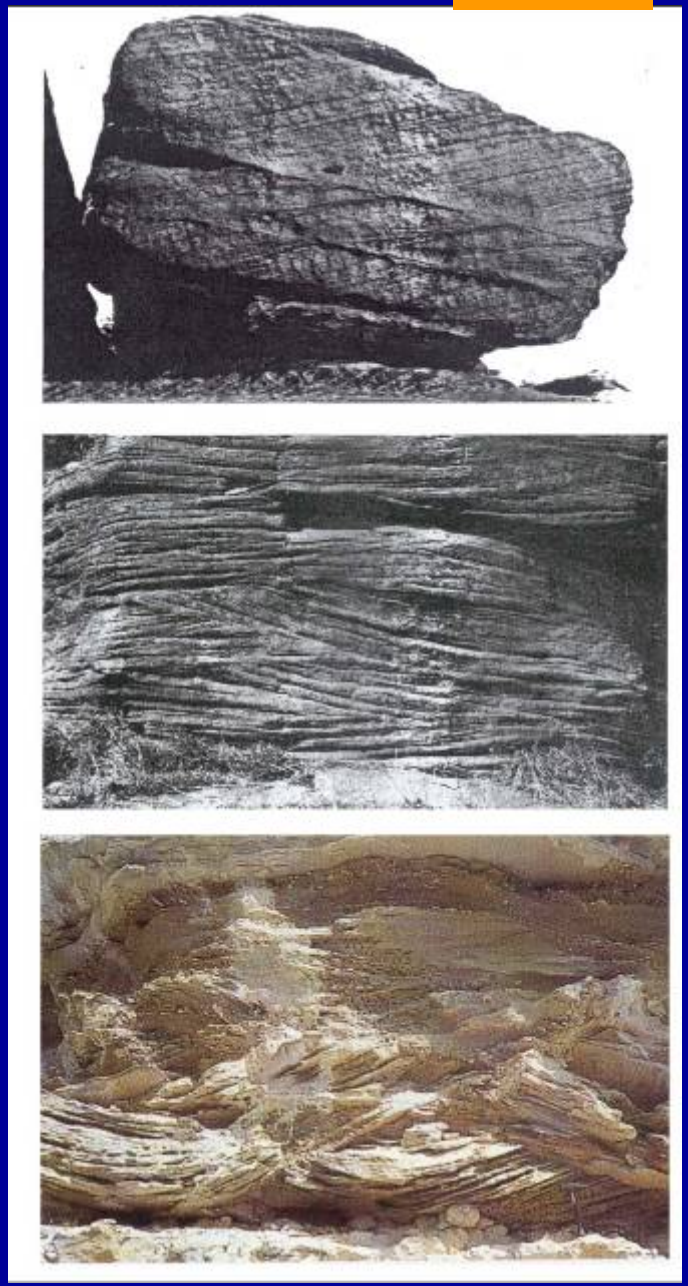
FIGURE 3-17 Tabular cross-bedding (cross-stratification) in the Mountain Lakes Formation, of Proterozoic age, Northwest Territories, Canada. (*Courtesy of G. Ross.*) ? *Was the current that produced the cross-bedding flowing approximately from right to left or left to right?*

板状交错层理：层系间界面呈平面，相互平行，层系内纹层倾向相同，大致反映单向水流，垂直水流方向剖面上，似“水平层理”（粒度、能量）。

楔状交错层理：层系间界面呈平面，但其界面之间互不平行，使层系呈楔形。平行水流方向，纹层与界面斜交，垂直于水流方向，与界面大致平行或斜交。

槽状交错层理：层系界面为曲面，上下界面之间相互平行或斜交，层理本身为一槽状，纹层平行于层系面（弯曲）。平行水流方向，纹层呈较缓弧形，倾向一致，垂直水流方向上纹层呈槽状。





C-1(rswave, 板状交错层理).mov —“见动画”

C-2(rdune, 楔状交错层理).mov—“见动画”

C-3(rcflow,槽状交错层理).mov—“见动画”

波状交错层理：

层系界面呈波状，层系内的纹层可与界面相交，也可与底面大致平行的波状面。属小型交错层理。

确定交错层理的类型，要在三度空间进行观察和描述，因同一类型的交错层理在不同断面上反映的形态是不同的。

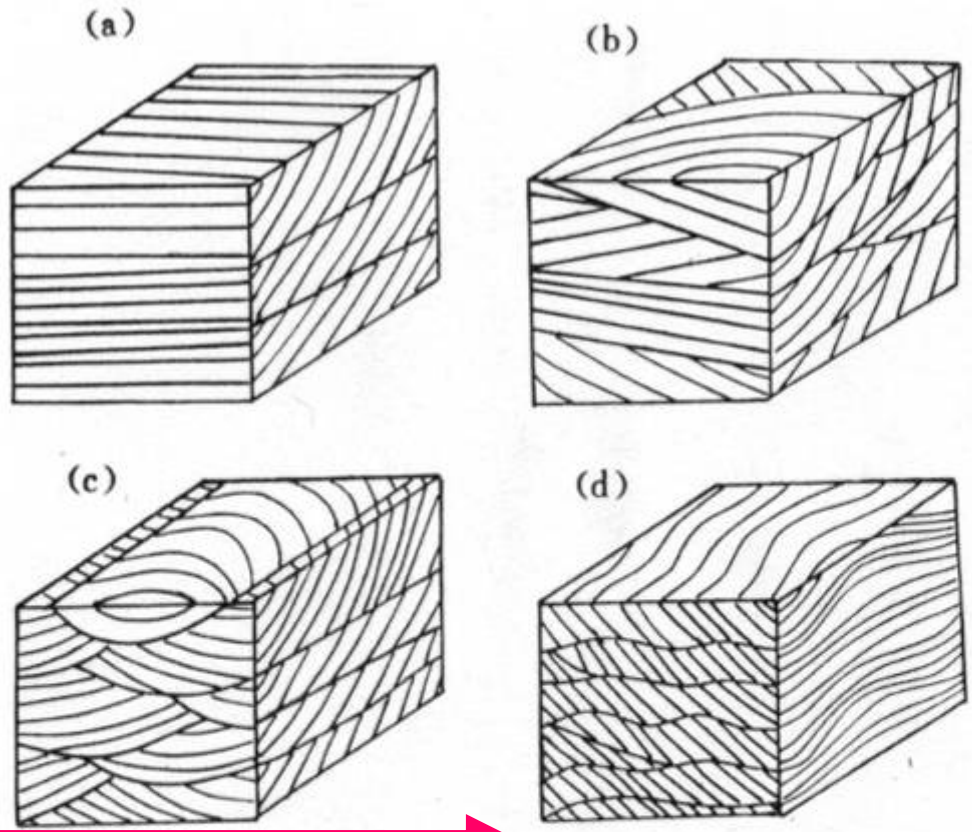
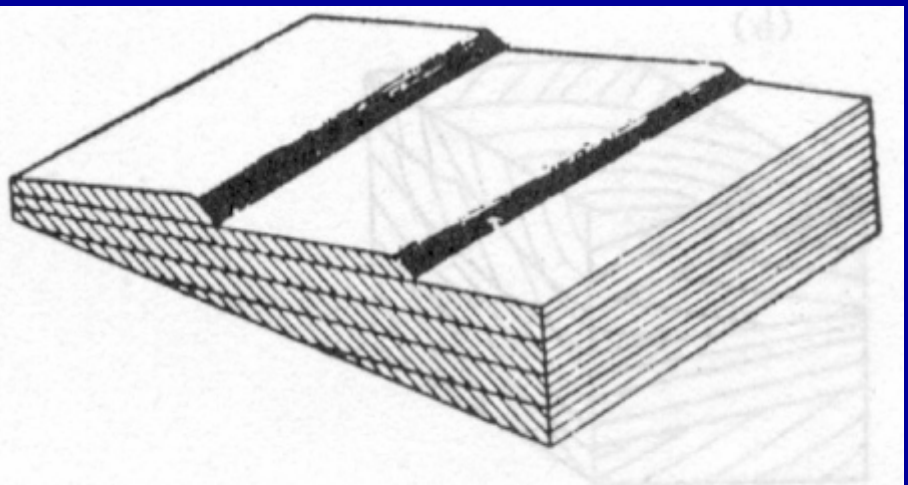


图 5 – 10　交错层理的主要形态类型

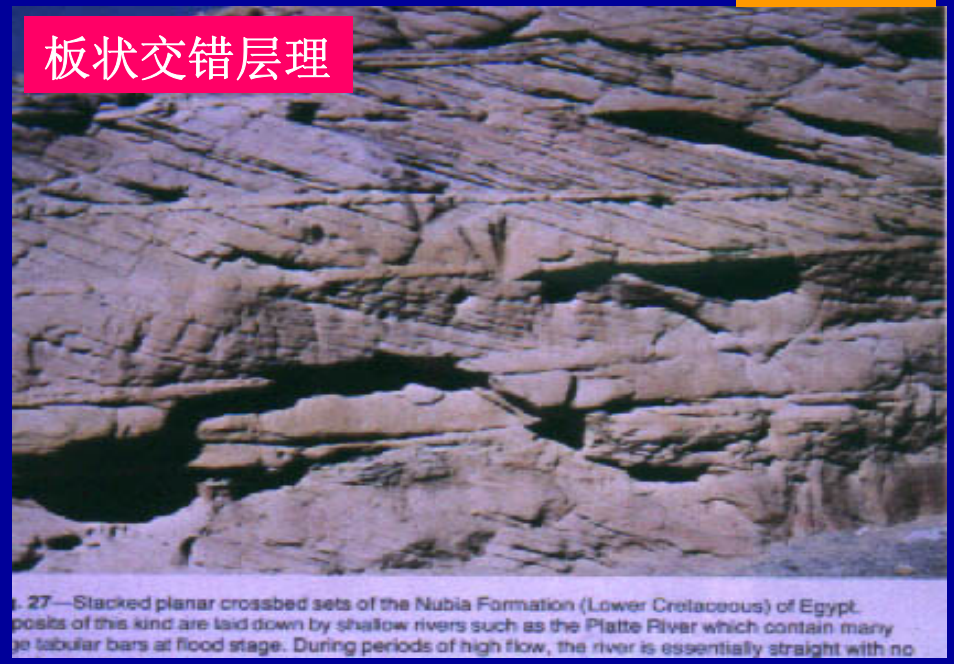
a. 板状交错层理；b. 楔状交错层理；
c. 槽状交错层理；d. 波状交错层理

板状、楔状交错层理实例



A. 直线形水流波痕迁移形成的板状交错层理

板状交错层理



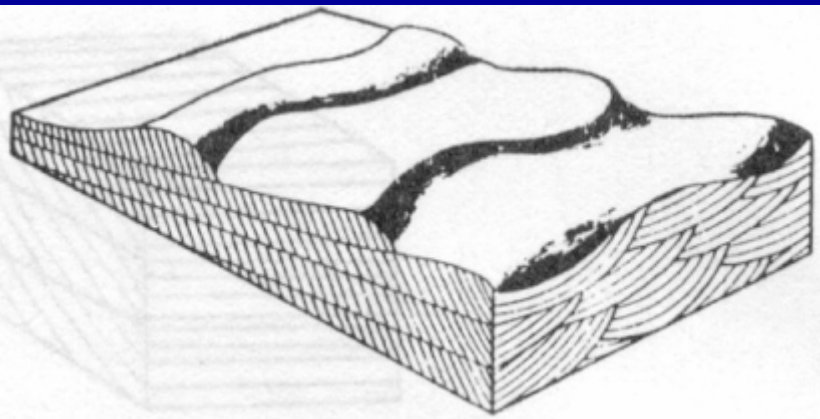
. 27—Stacked planar crossbed sets of the Nubia Formation (Lower Cretaceous) of Egypt. osits of this kind are laid down by shallow rivers such as the Platte River which contain many e tabular bars at flood stage. During periods of high flow, the river is essentially straight with no

楔状交错层理

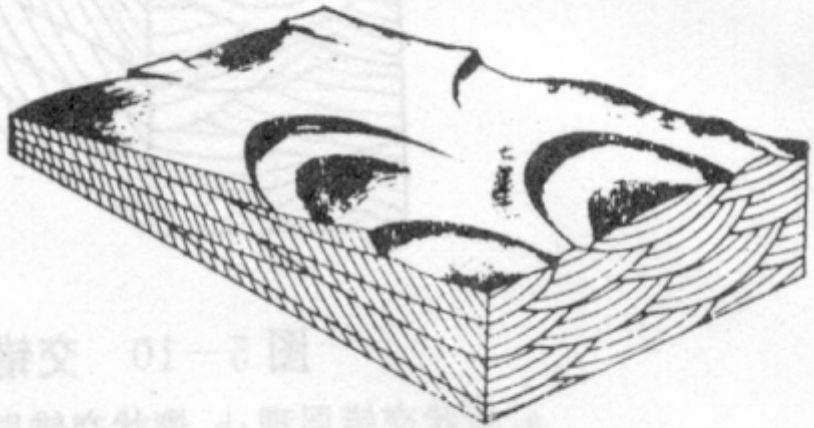




槽状交错层理实例



B. 波曲形水流波痕迁移形成的
槽状交错层理



D. 新月形水流波痕迁移形成的
槽状交错层理



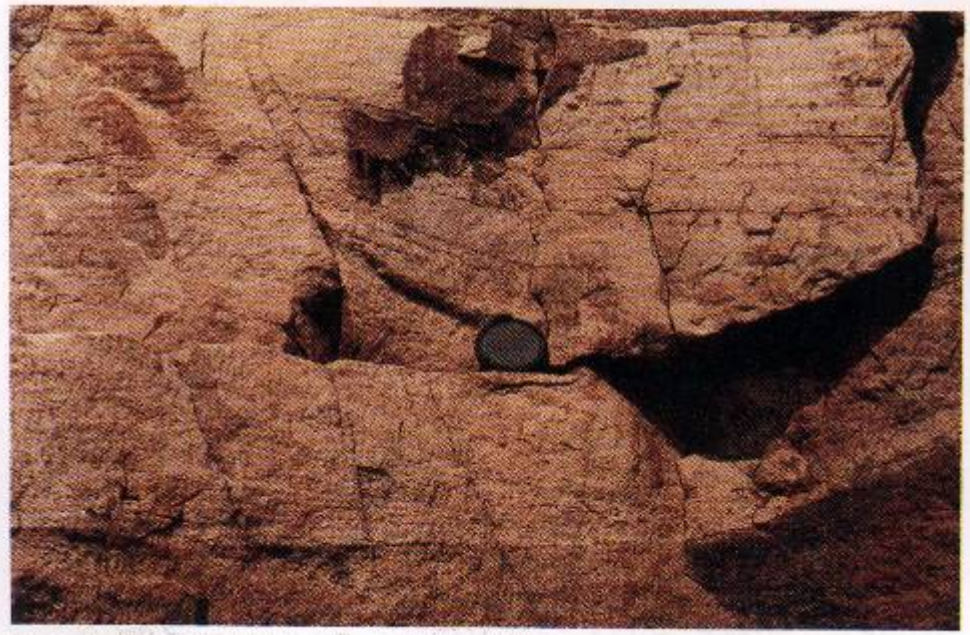
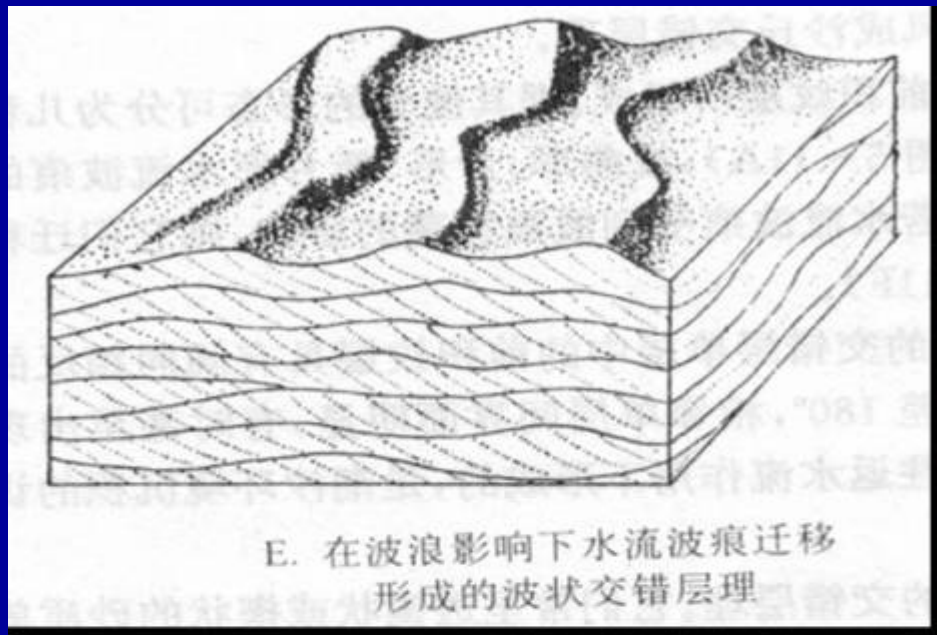


图 4. 大奎山石盒子组奎山段大型槽状交错层理

槽状交错层理实例



波状交错层理实例



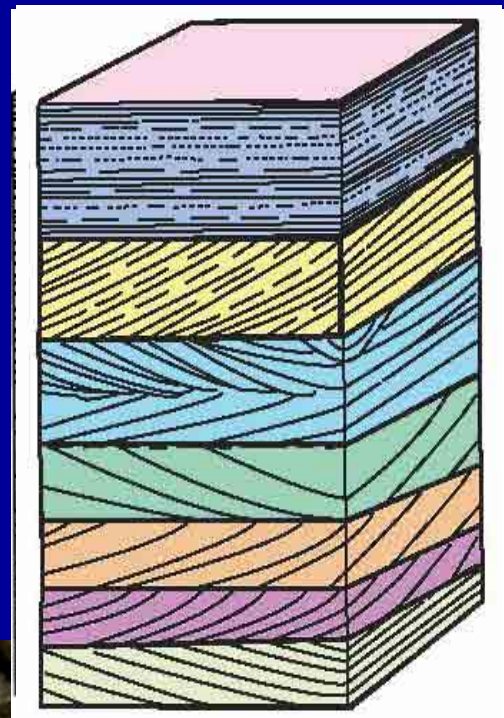
E. 在波浪影响下水流波痕迁移形成的波状交错层理







b. 羽状交错层理：两个相邻层系的前积纹层倾向相反（180°），界面明显，有时出现一个泥质薄层。是周期性往返水流作用下形成的，是潮汐环境沉积的识别标志。

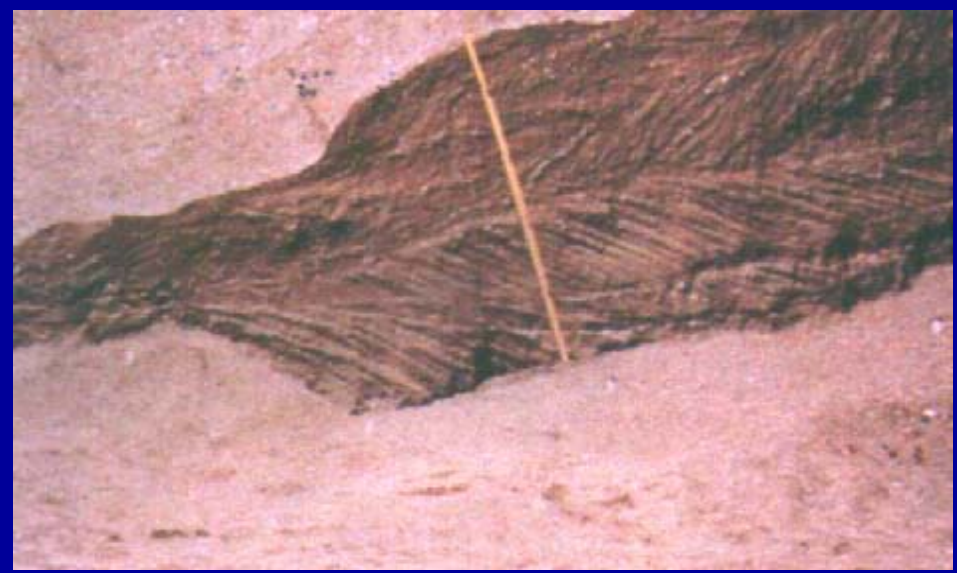


A



B





羽状交错层理实例









c. 逆行沙丘交错层理：逆行沙丘迁移产生。常呈透镜状或楔状的砂质单元产出，向上游和向下游方向都以相当低角度倾斜。纹层一般较模糊，且倾角较小，一般小于10度，常与平行层理共生，且与上下交错层理的纹层倾角相反。

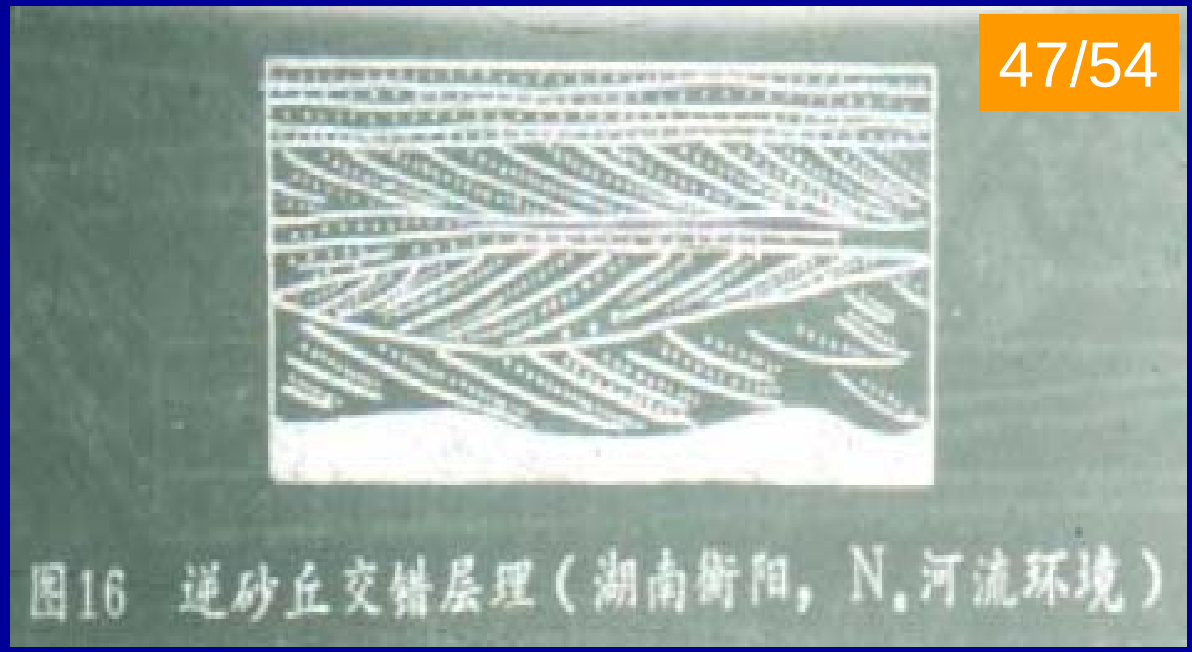


图16 逆砂丘交错层理（湖南衡阳，N.河流环境）



C-5(antidun, 逆行沙丘).mov
—“见动画”

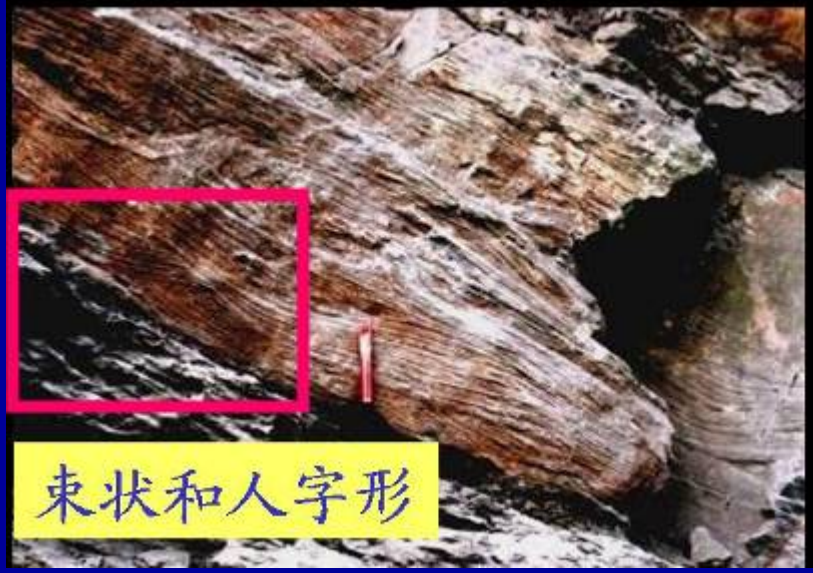
d. 浪成波痕交错层理：

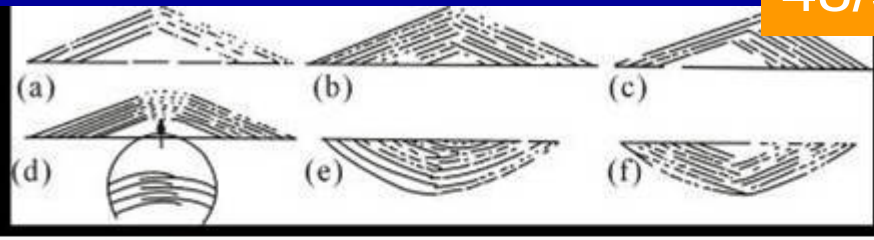
与水流波痕交错层理差不多。波浪波痕交错层理一的主要鉴别标志：

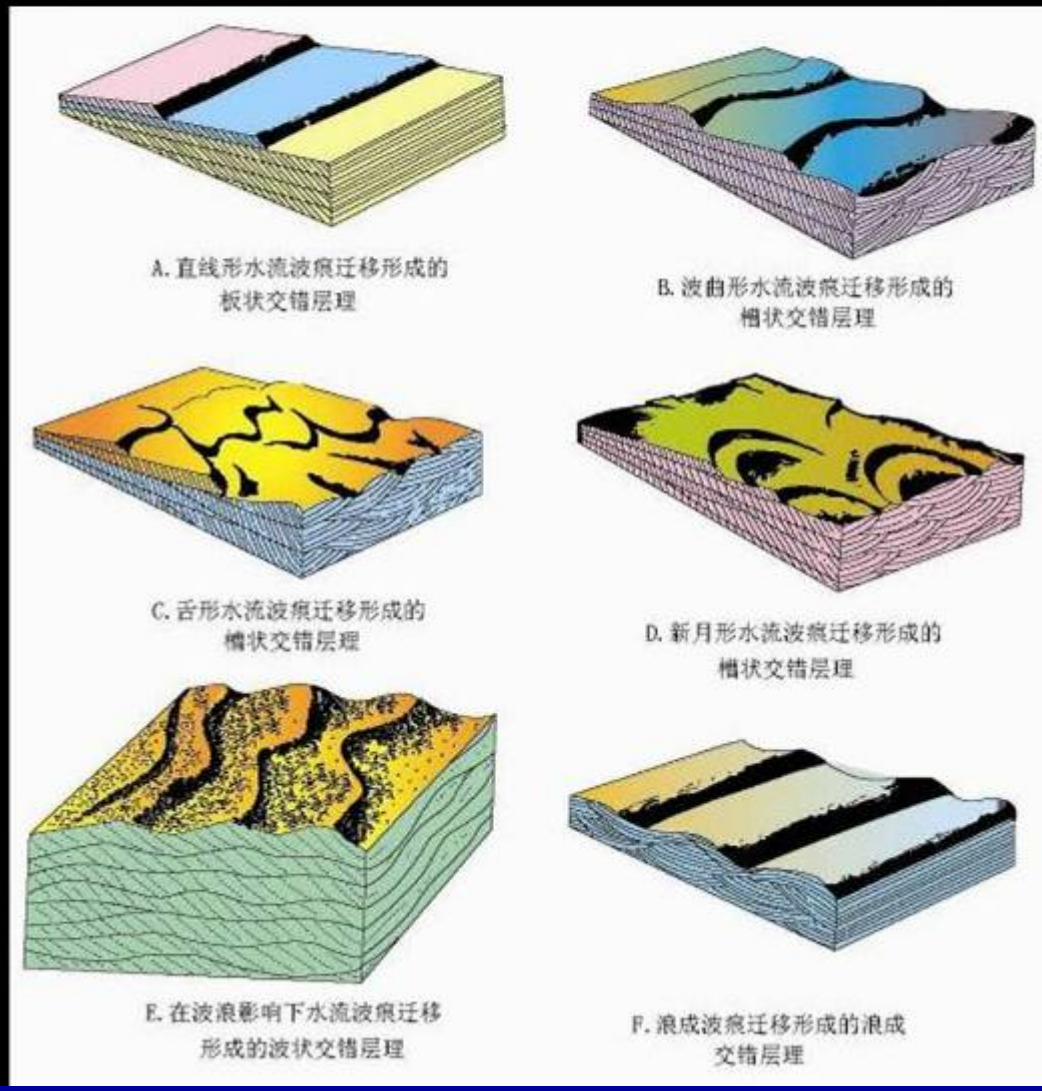
①层系的底界面呈波状(波痕的不规则迁移)；

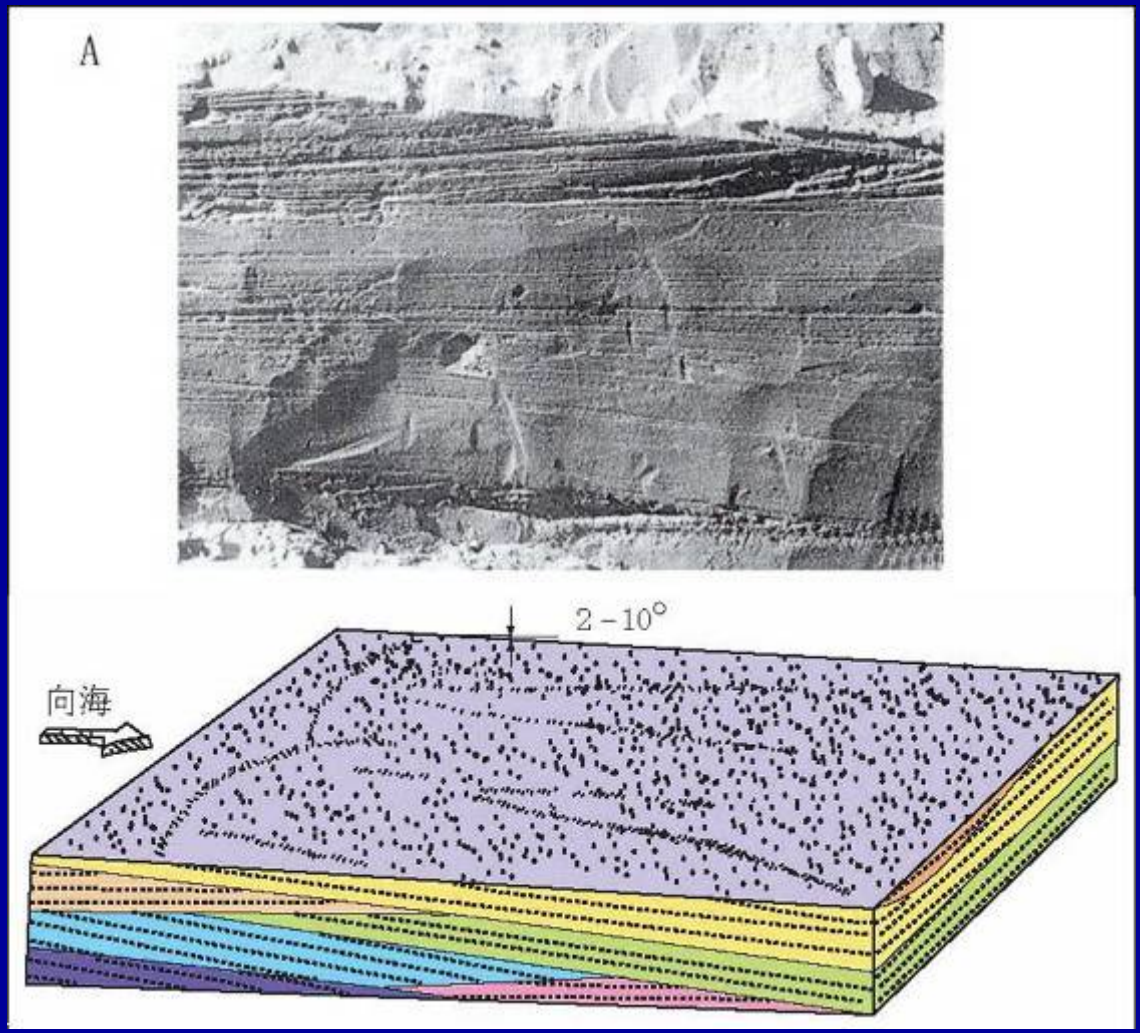
②纹层常呈交错状(束状叠置；

③纹层具“人”字型构造。

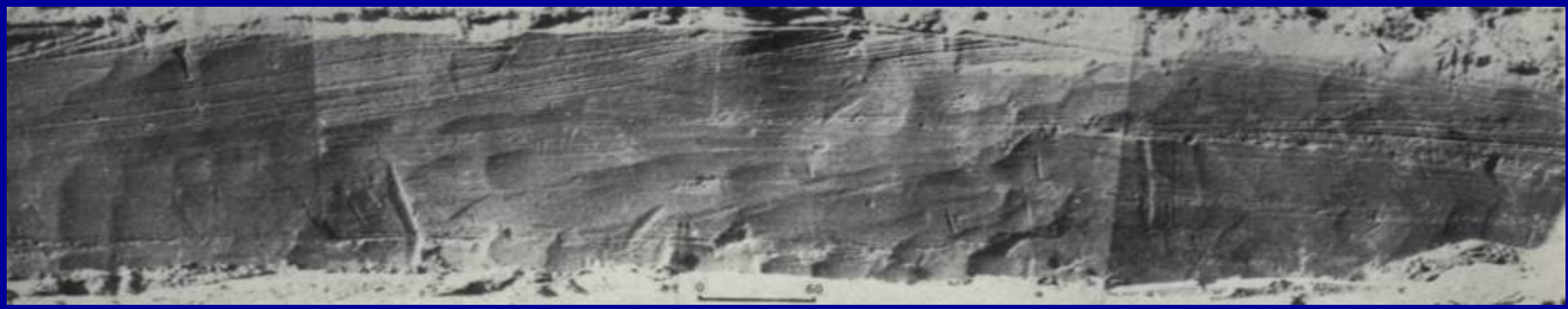








e. 冲洗交错层理：在海滩上，受到波浪的冲流和回流的冲洗作用而产生倾角平缓（一般2°—10°）的纹层，其形态属大型板状或大型楔状交错层理。



冲洗交错层理实例



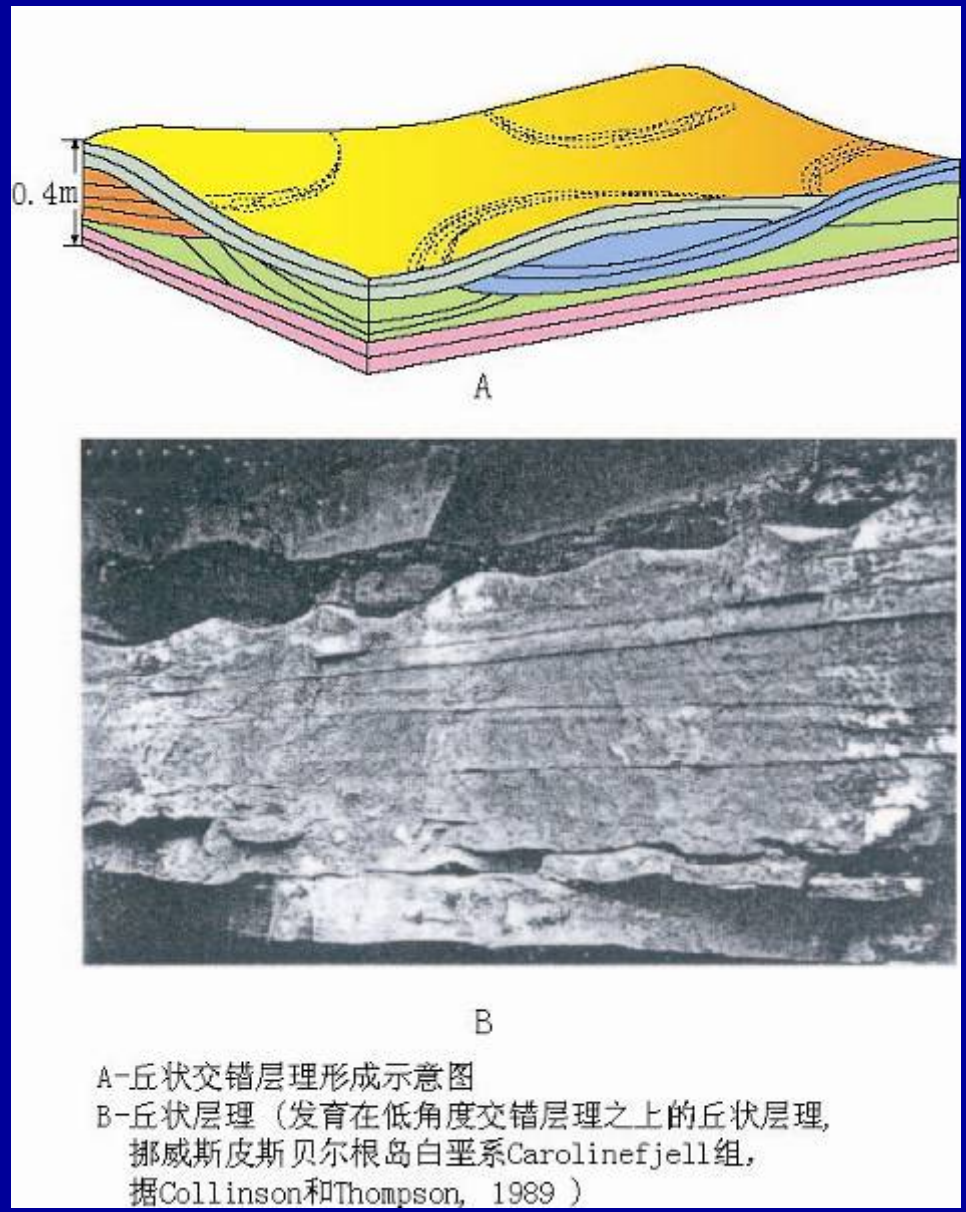
f. 丘状交错层理：在正常浪基面与风暴浪基面之间，由风暴作用形成的交错层理。

①下界面为侵蚀面，其斜面为低角度（<10°）；

②纹层与下界面大致平行；

③在一个层系中，纹层有时系统地侧向变厚，因而断面呈扇形，倾角也有规律地减小。

成因解释：底床被冲刷成波丘状，上覆沉积了与风暴有关的，具有纹理的沉积物，波丘的高度10－50cm，间距1m或几米。



A-丘状交错层理形成示意图
B-丘状层理（发育在低角度交错层理之上的丘状层理，挪威斯皮斯贝尔根岛白垩系Carolinefjell组，据Collinson和Thompson，1989）

g. 风成沙丘交错层理：

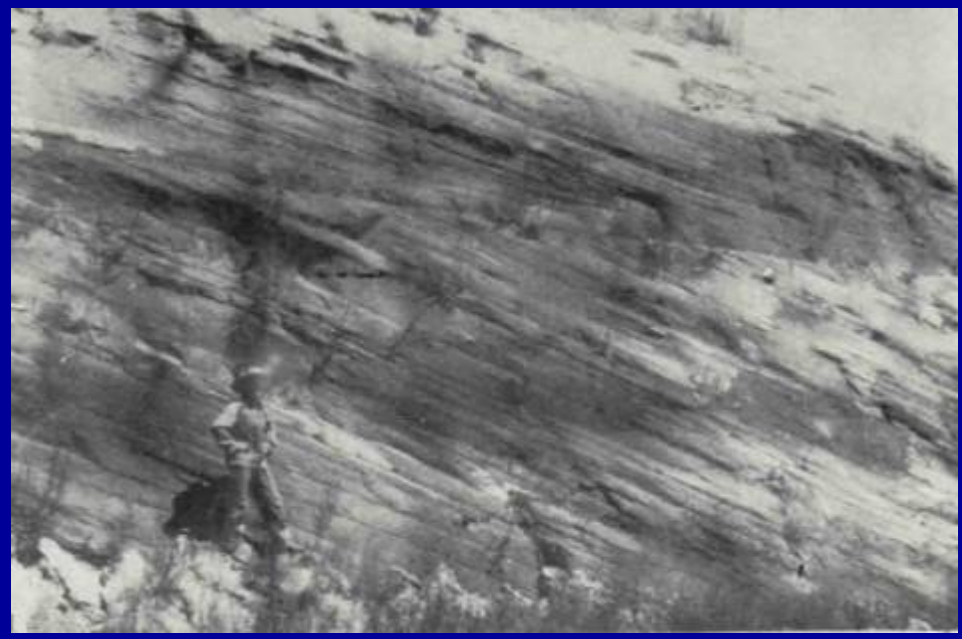
风成沙丘迁移而成，属板状和楔状交错层理。

标志是：规模较大，层系厚度几十厘米至几米，纹层厚度可达2－5cm，常呈直线形，倾角可高达30o－40o。

出现在沙漠、半干旱区、海岸带、洪泛平原等环境中。



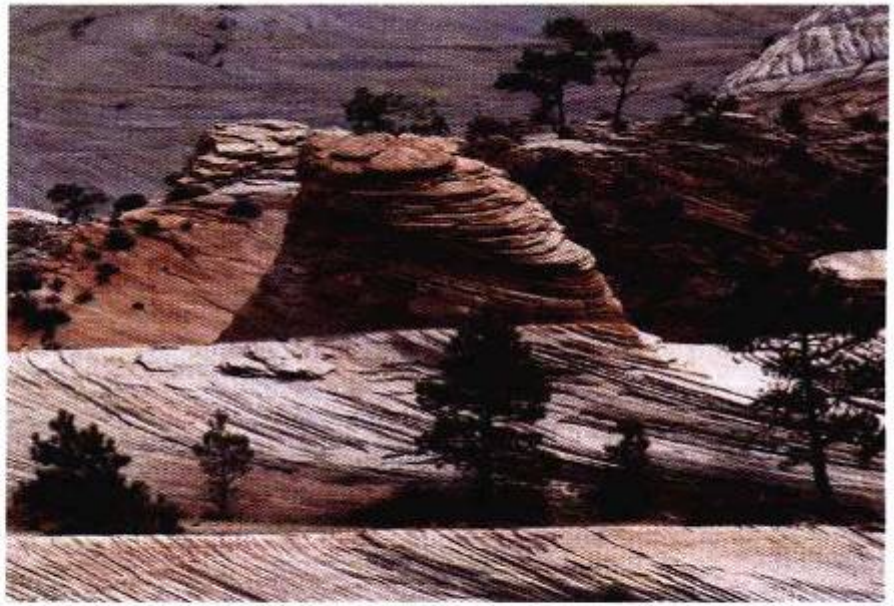




风成沙丘交错层理



A.



B.

Figure 6.17 **A.** The cut-away section of this sand dune shows cross-bedding. (Photo by John S. Shelton) **B.** The cross-bedding of this sandstone indicates it was once a sand dune. (Photo by David Muench)



第五章-2
沉积环境的主要判别标志（结束）

注意：纹层(细层)
层系(单层)
层系组(层组)

一、沉积构造的概念及分类
二、物理成因的沉积构造
（一）流动构造
（1）层面构造
（2）层理构造
1. 层理构造的术语
2. 层理构造的类型

♣按综合因素，分为：
1）交错层理
2）爬升波痕层理
3）递变层理
4）平行层理
5）水平层理
6）均匀层理
7）脉状、波状、透镜状层理
8）砂泥互层水平层理
9）韵律层理