



第二节 碎屑物质的搬运和沉积作用

**Transportation and sedimentation
of clastic**



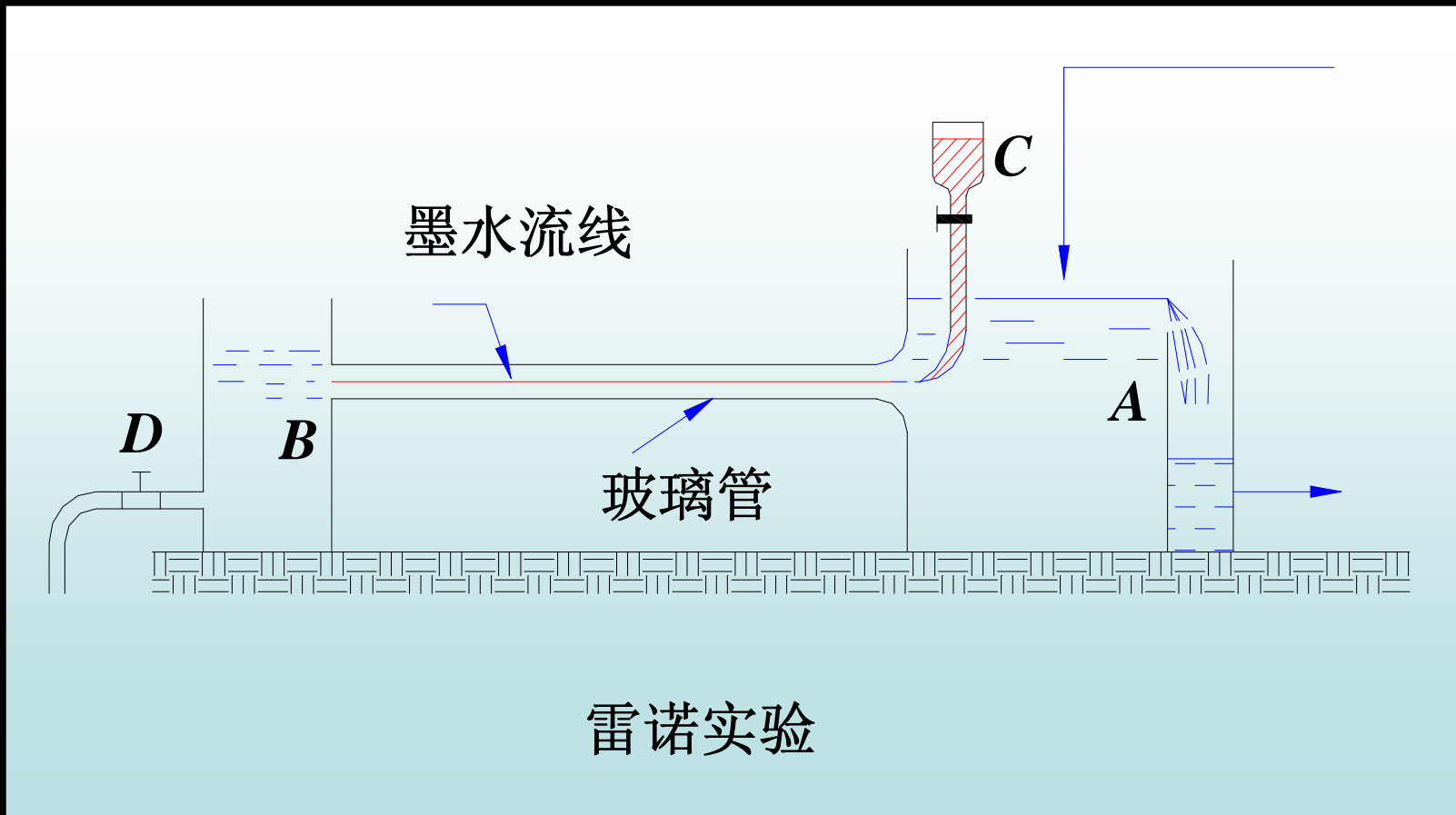
搬运和沉积碎屑物质的流体主要是**流水**和**大气**，在高寒地区的**冰川**和干旱地区的**风**也是搬运和沉积碎屑物质的营力。

作为碎屑物质搬运和沉积的流体，自然界存在两种基本类型，即**牵引流**和**沉积物重力流**。

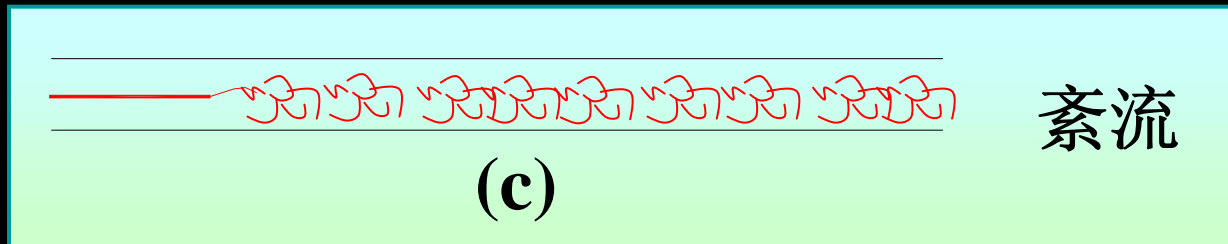
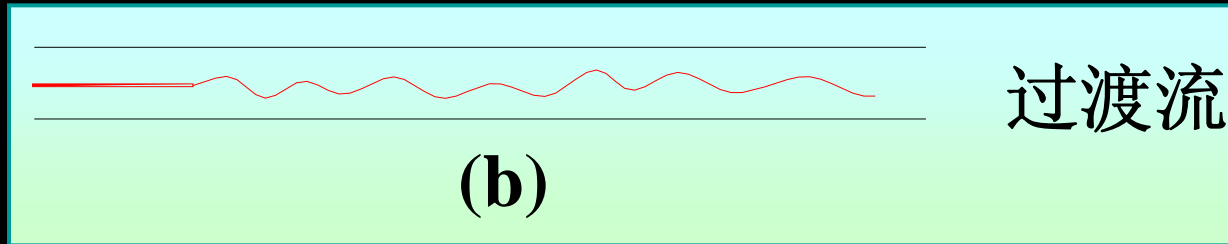
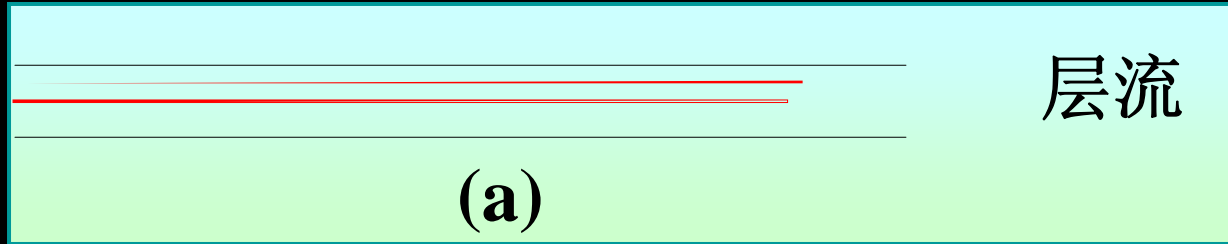


一、流体的一些基本知识和概念

1. 层流、紊流和雷诺数



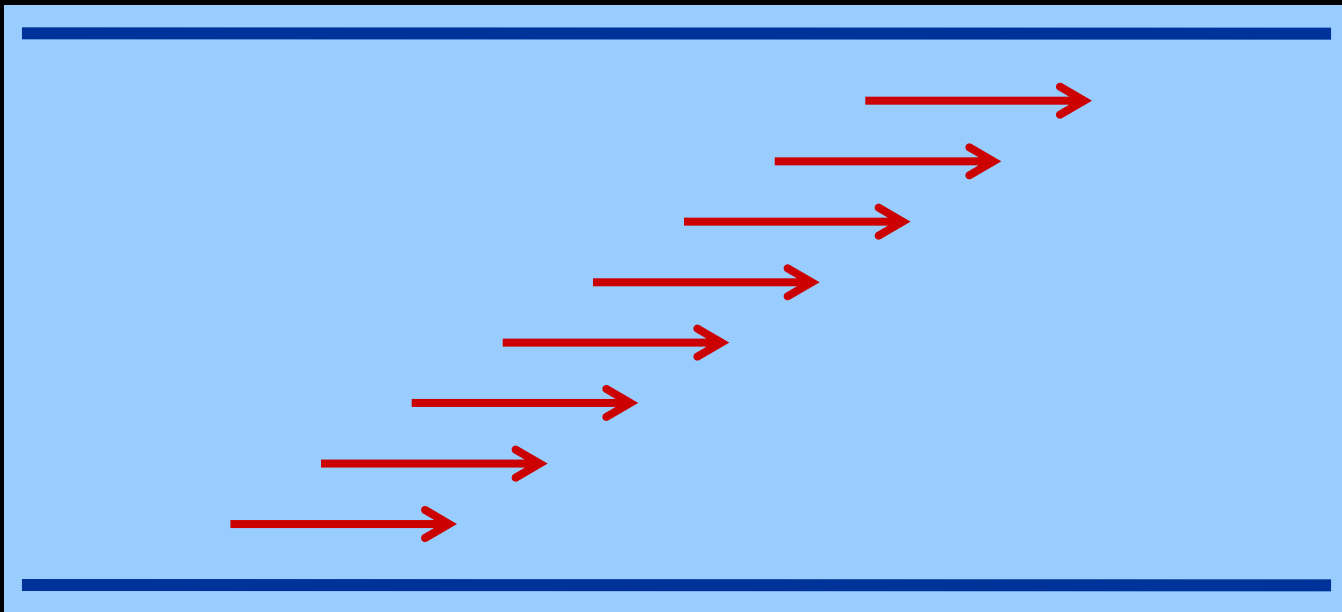
逐渐打开开关D，增加流速，观察管中红墨水水的流动状态：



两种稳定的流动状态：层流、紊流

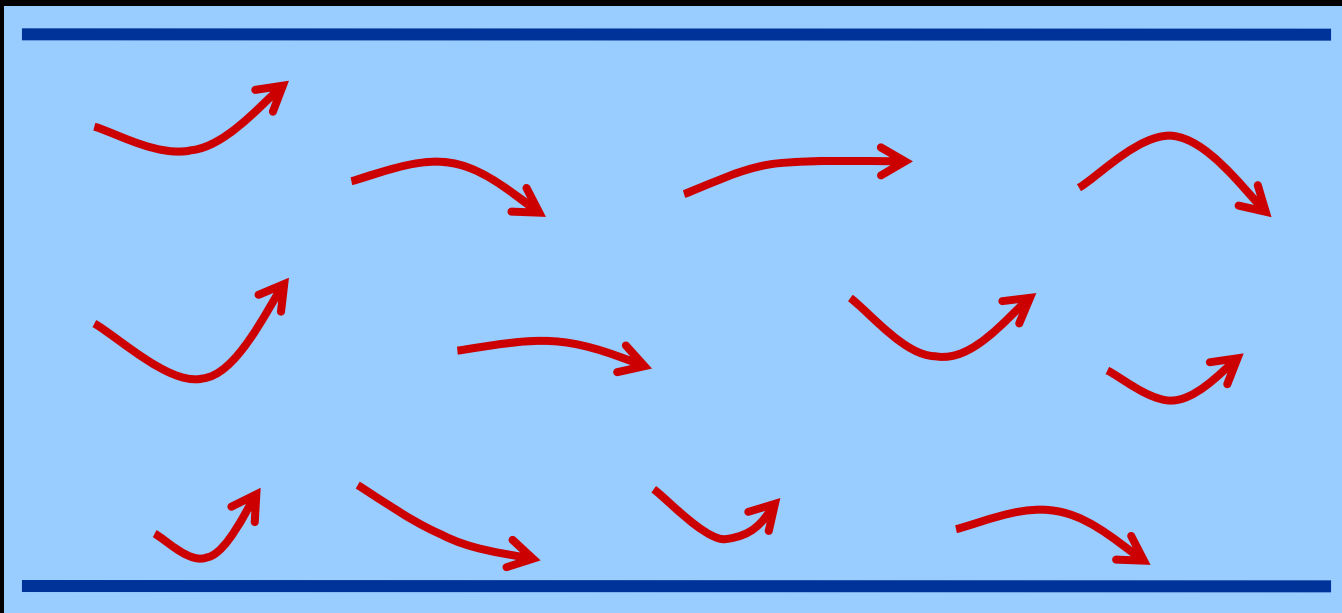


层流 (laminar flow)：一种缓慢流动的流体，流体质点作有条不紊的平行线状运动，彼此不相掺混。





紊流 (turbulent flow) : **湍流**，一种充满了漩涡的多湍流的流体，流体质点的运动轨迹极不规则，其流速大小和流动方向随时间而变化，彼此相互掺混。





英国学者雷诺（O. Reynolds）首先从实验室中观察到这一物理现象，用不同管径的管道和不同流体进行试验，获得了一个判别层流与紊流的准则，称为雷诺数（Reynolds Numbers）

$$\begin{aligned} \text{雷诺数 (Re)} &= \text{惯性力} / \text{粘滞力} \\ &= V^2 d^2 \rho / V d \mu = V d \rho / \mu \end{aligned}$$

V—水的流速

d—颗粒直径

ρ —水的密度

μ —动力粘滞系数

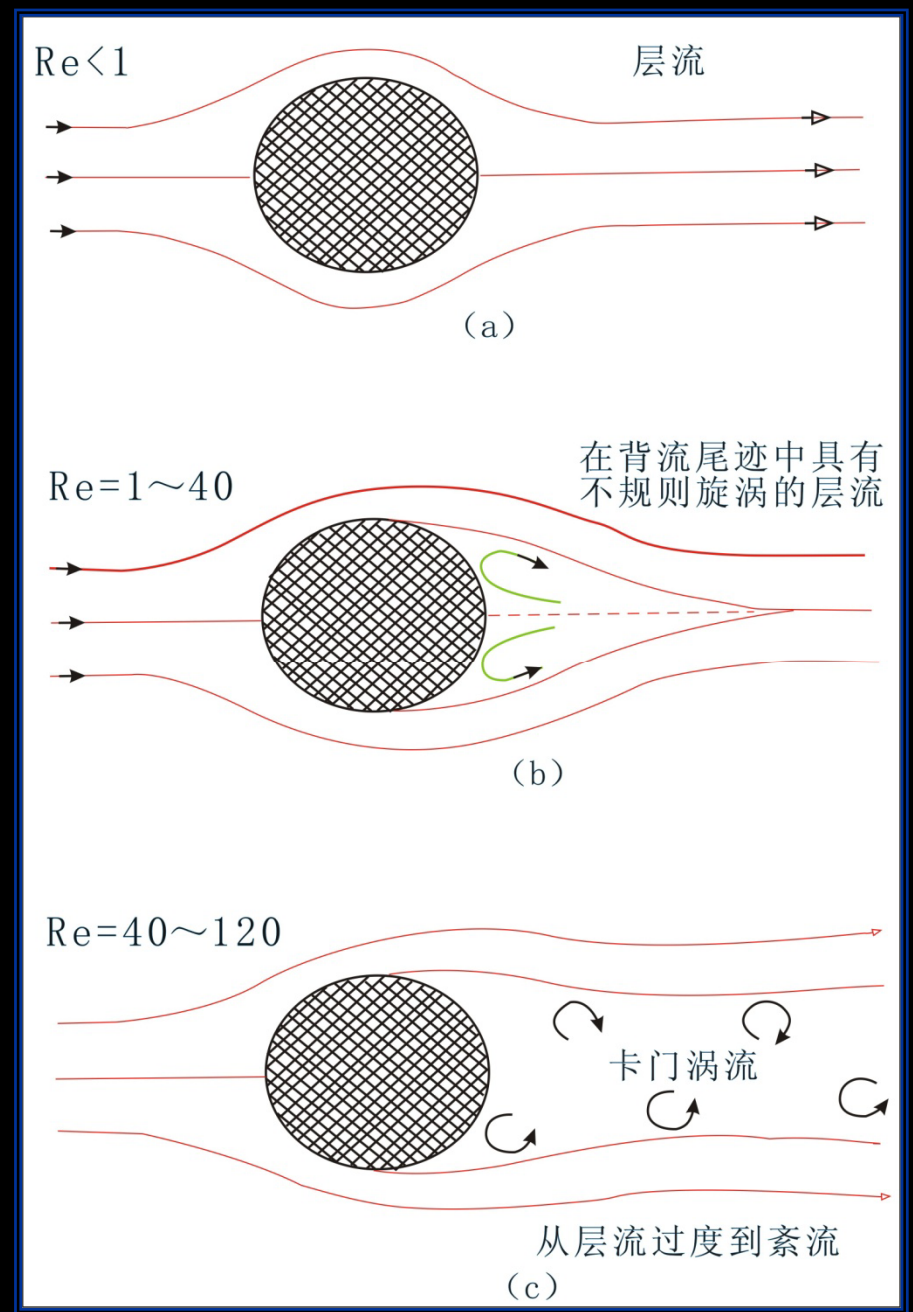
◆ $Re = 1$ 时，流动呈层流

◆ $Re = 1 \sim 40$ 时，在颗粒

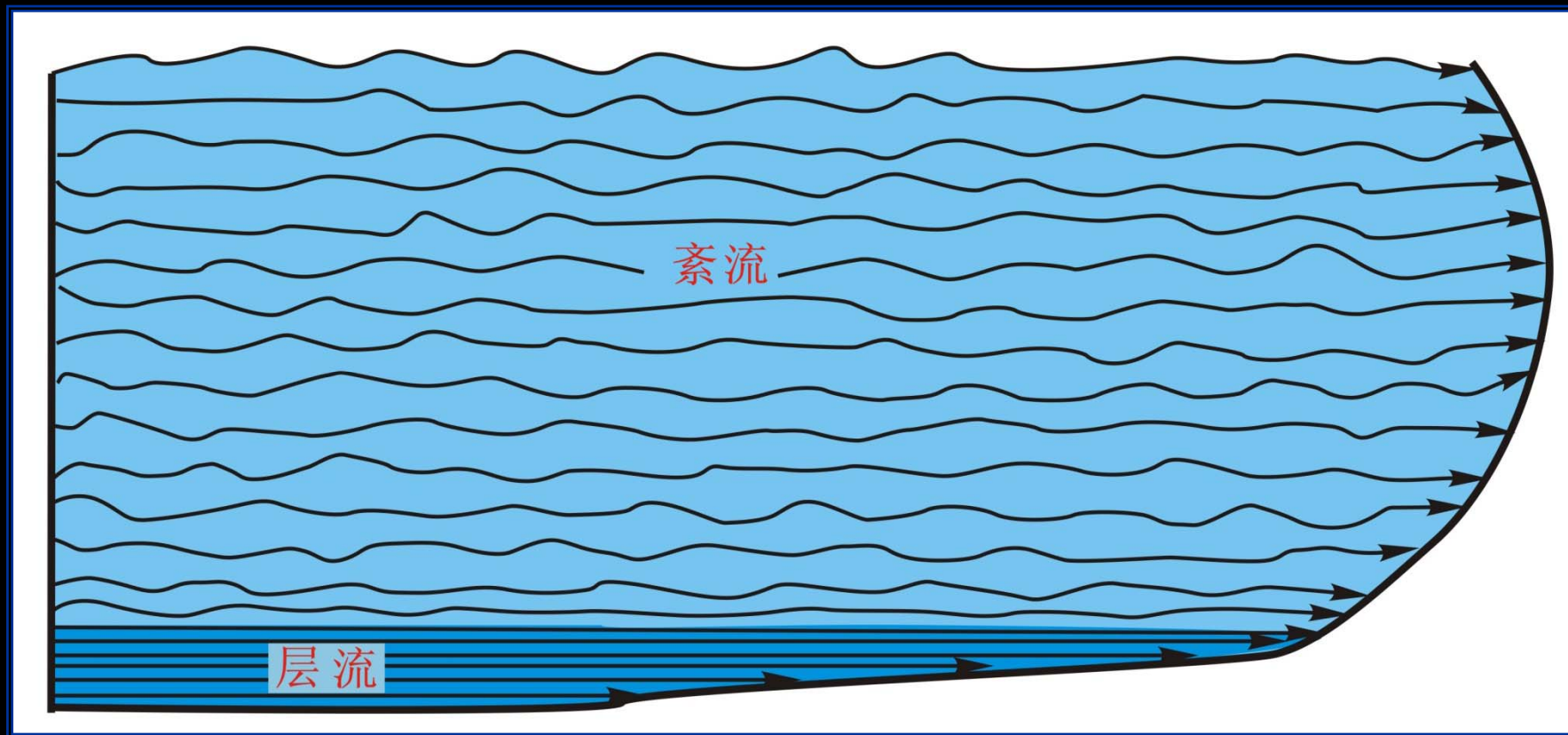
背后会出现背流尾迹

◆ $Re > 40$ 时，出现“卡门

涡街”，紊流（涡流）



自然界中绝大多数水体是紊流运动



为什么上部是紊流下部是层流？



2. 急流、缓流和佛罗德数

根据佛罗德数（Froude Numbers）数，明渠水流可分为急流、缓流和临界流三种状态。

$$\text{佛罗德数 } Fr = \text{惯性力} / \text{重力} = V^2 / Lg$$

大多数工程技术人员把这一数值的平方根当作佛罗德数，即

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{Lg}}$$

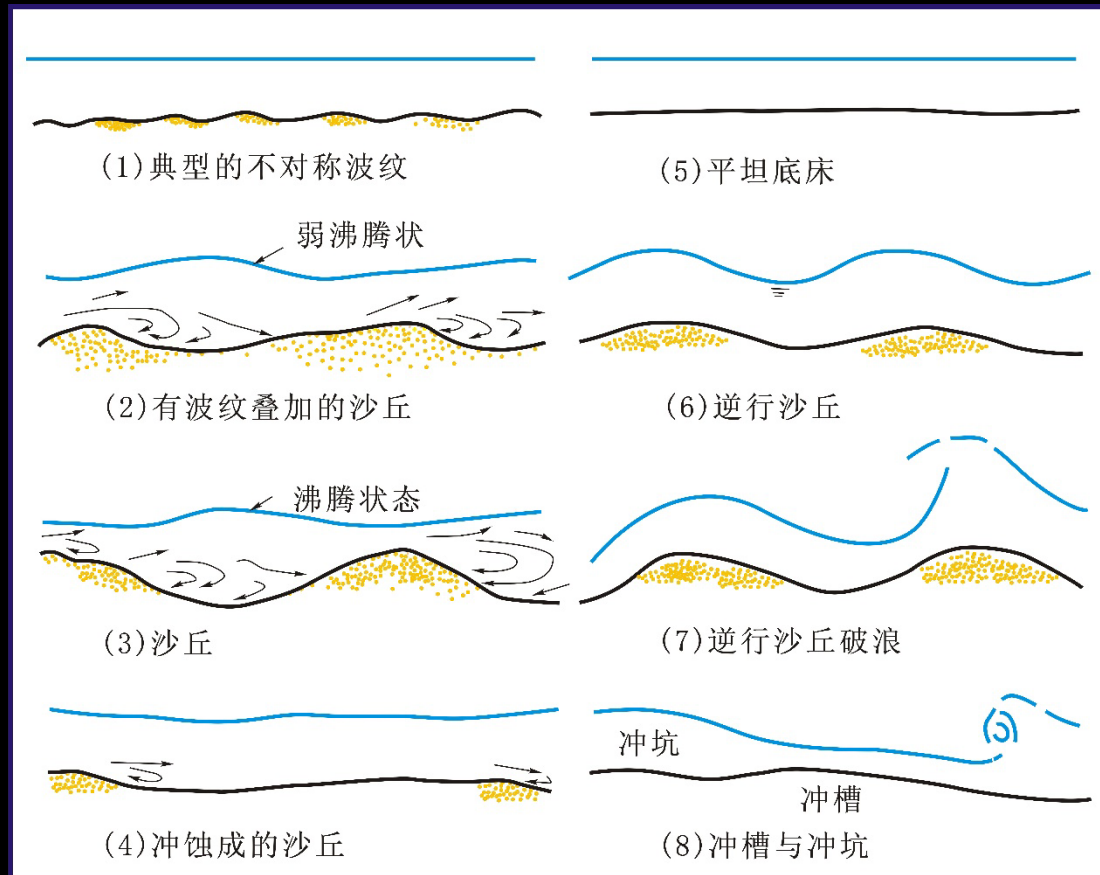
◆ $Fr > 1$ ，急流，超临界流，水浅流急

◆ $Fr = 1$ ，临界流

◆ $Fr < 1$ ，静流，缓流或临界以下的流动，水深流缓



床沙表面可随水流强度变化而出现各种类型床沙形体，组成床沙的砂砾颗粒的滚动、滑动或跳跃移动使床沙形体发生顺流或逆流移动，这种现象在水力学中称为**沙波运动**。





3. 牛顿流体和非牛顿流体

◆ **牛顿流体** (Newtonian fluid) : 服从牛顿内摩擦定律的流体, 如**牵引流**。

◆ **非牛顿流体** (Non-Newtonian fluid) : 不服从牛顿内摩擦定律的流体, 如**沉积物重力流**。



$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

其中： τ —粘滞切应力（单位面积上的内摩擦力）
 u —流体速度，
 y —由底部起计算的距离（流体两滑动面之间的）
 du/dy —流体梯度（剪切变形率）
 μ —动力粘滞系数

- ◆在温度不变的情况下，随着 du/dy 的变化， μ 值始终保持一常数，则为服从内摩擦定律。
- ◆在温度不变的情况下， μ 值随着 du/dy 的变化而变化，则为不服从内摩擦定律。



4. 两种流体及其搬运和沉积作用方式

◆ **牵引流** (Traction current) : 符合牛顿流体定律的流体。其搬运机制是流体动能**拖曳牵引**沉积物一起运动，如河流、风流和波浪流等。

◆ **沉积物重力流** (Gravity flow) : 在**重力**作用下发生流动的、弥散有大量沉积物的高密度流体。



● **牵引搬运（牵引作用）**：能使碎屑物质作底负载移动的各种作用。

● 牵引流的搬运力包括：

① **推力（牵引力）**与流速有关

② **载荷力（负荷力）**与流量有关

推力大不一定负荷力大，反之亦然。

● 牵引流搬运方式：

溶解载荷、悬移载荷、推移载荷（床沙载荷）。

● 重力流搬运的驱动力主要起因于**重力**。



二、搬运和沉积作用

1. 碎屑物质在流水中的搬运和沉积作用

Transportation and sedimentation of clastic materials in water flow

碎屑颗粒在流水中的搬运和沉积，主要与水的流动状态（是层流还紊流，是急流还缓流）关系密切；还与碎屑颗粒的本身特点（大小、相对密度和形状等）有关。



(1) 搬运方式

推移搬运（滚动搬运、跳跃搬运）

悬浮搬运（悬移搬运）

(2) 机械沉积作用

处于搬运状态的碎屑物质，在一定的条件下，主要是当流水的动力不足以克服碎屑的重力时，碎屑物质就会沉积下来。



碎屑物质在静水中下沉情况可用斯托克实验公式表示（G.G.Stokes, 1850）：

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{d_1 - d_2}{\mu} \cdot g r^2$$

（适用于粒径<0.1mm的球形颗粒）

其中： v — 颗粒下沉速度（cm/s），
 d_1 — 颗粒密度
 d_2 — 水介质密度，
 g — 重力加速度（980cm/s²），
 r — 颗粒半径（cm）
 μ — 水介质粘度



①碎屑颗粒在静水中下沉速度与颗粒半径平方成正比

细碎屑颗粒在清洁的净水中的下沉速度 (mm/s)

极细砂	>3.84	中粉砂	0.96~0.24	极细粉砂	0.06~0.015	中粘土	0.00375~0.0009375
粗粉砂	3.84~0.96	细粉砂	0.24~0.06	粗粘土	0.015~0.00375	细粘土	<0.0009375

极细砂下沉30m约需2小时，而细粘土则约需1年；如下沉3000~4000m，极细砂约需10天，细粘土则约需100年。



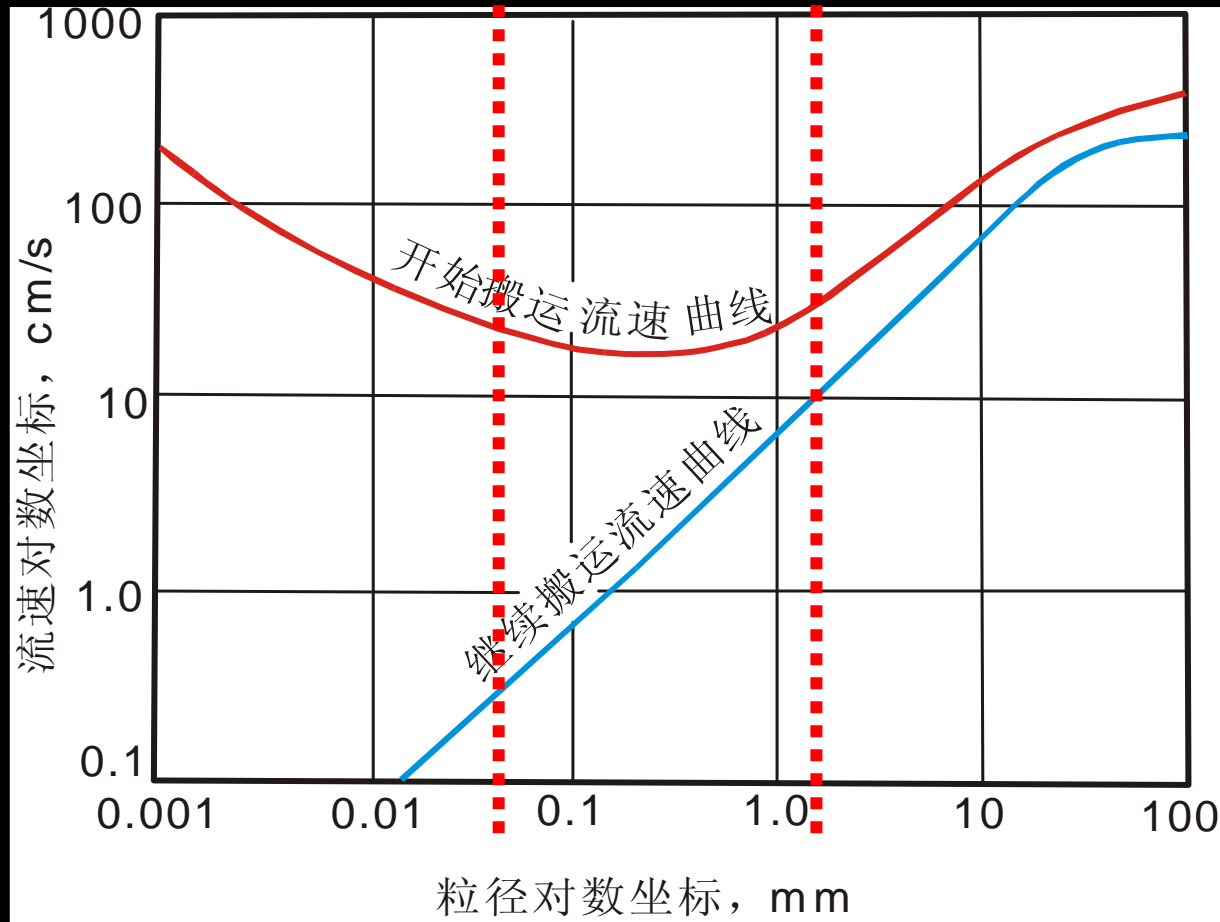
② 碎屑颗粒在静水中下沉速度与其**相对密度**成正比；

③ 斯托克公式是在假定颗粒为**球形**的情况下求得的，假如颗粒不是球形，其沉速有所不同。实验证明，假设球形颗粒的沉速为100，则椭球形颗粒的沉速为84~61，立方体为74，长柱体为50，片状颗粒为80~38；

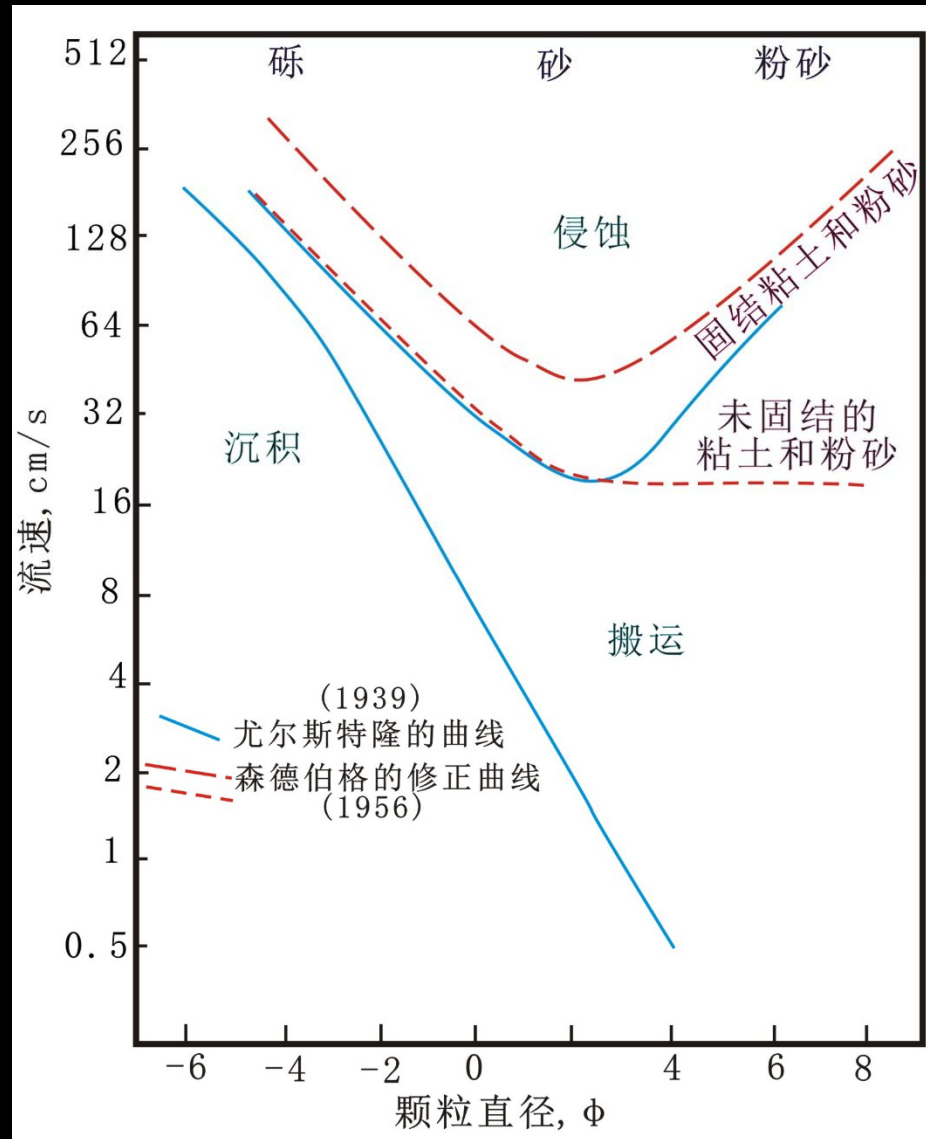
④ 斯托克公式只有在**静水**或**层流**条件下才适用。



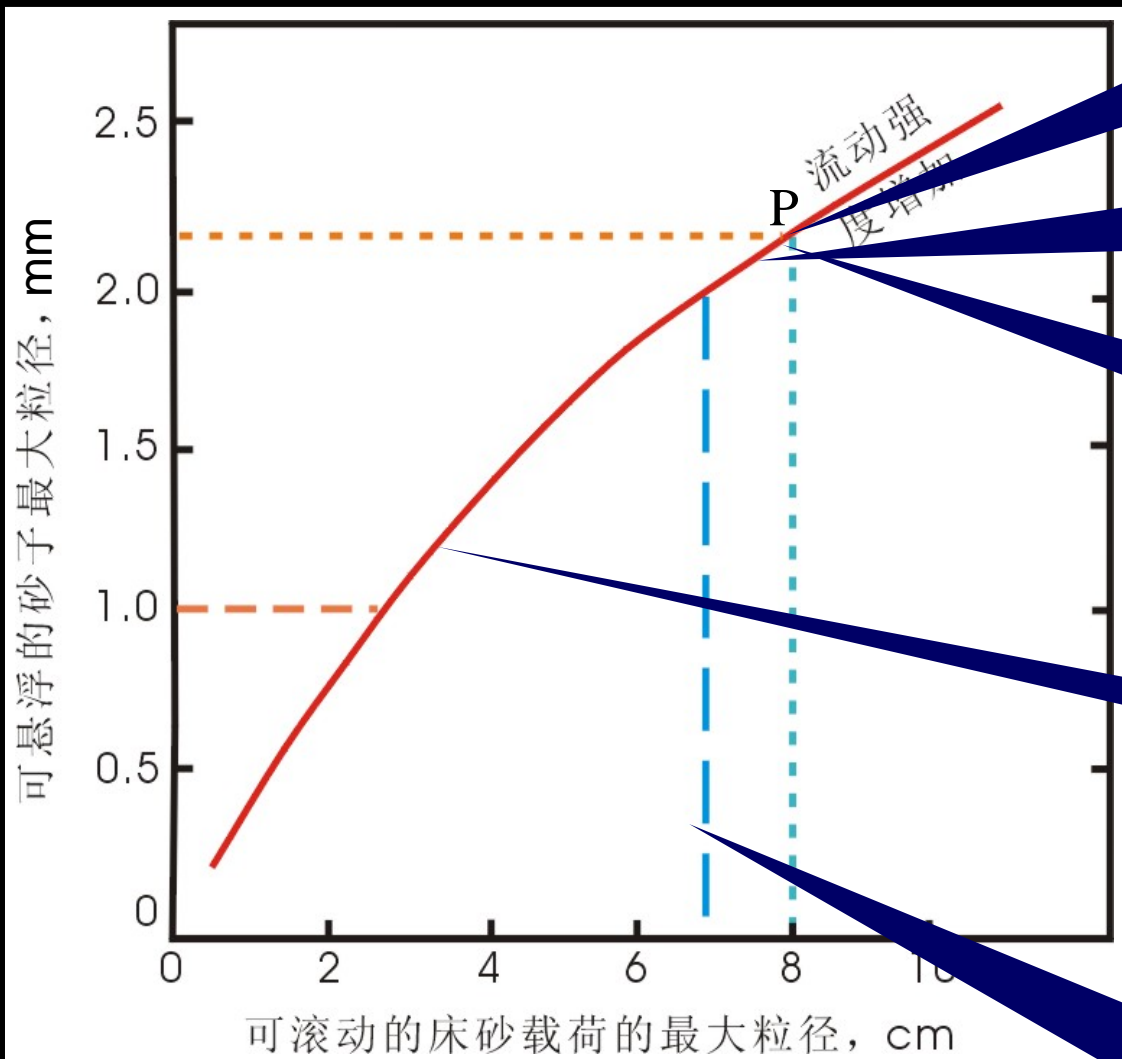
碎屑物质在流水中的搬运和沉积，流速和颗粒大小之间的关系最为关键。



尤尔斯特隆图解



经森德伯格 (Sundborg, 1956) 修改过的尤尔斯特隆图解



当流动强度为P时，它所能滚动的砾石最大粒径为8cm，同时所悬浮的颗粒最大粒径为2.2mm。

当流动强度略小于P时，可使粒径为8cm和2.2mm的砾石同时沉积，从而形成双众数的砾岩。

当流动强度在P附近反复变动时，则可能形成粗、细砾石沉积的互层，其平均粒度分别为8cm和2.2mm。

如果流动强度急剧减少，则可能造成分选极差的多众数的砾、砂、粉砂和泥的混合沉积物。

沉积1mm砂粒所需的流动强度比沉积7cm砾石所需强度小得多，故在平均粒度为7cm的砾石沉积的孔隙中所充填1mm的砂，不可能是同时沉积物。

沃克 (Walker, 1975) 的图解



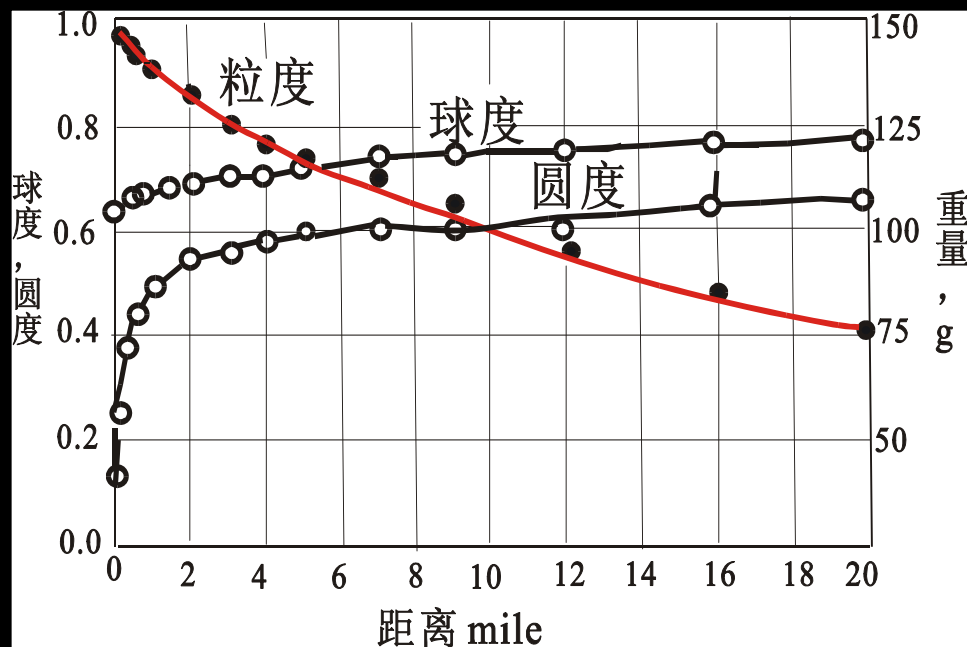
(3) 碎屑物质在流水搬运过程中的变化

① **成分**: 不稳定组分逐渐减少, 稳定组分则相应增加, 同时其组分也就变得更加简单了。

② 碎屑颗粒**粒度**逐渐变小

③ 碎屑颗粒的**圆度**逐渐变好

④ 碎屑颗粒的**球度**也有所增高

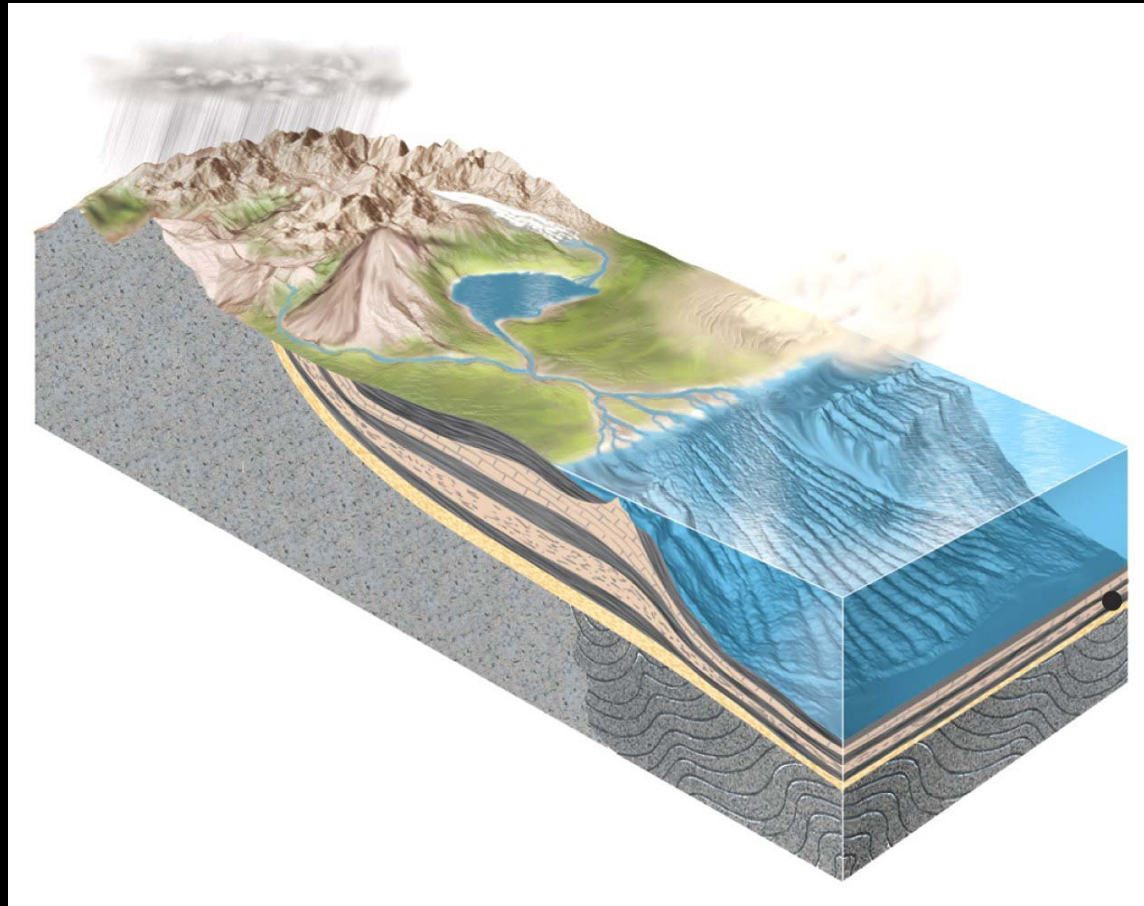




2. 碎屑物质在海水、湖水中的搬运和沉积作用

Transportation and sedimentation of clastic materials in sea and lake water

陆地表面流水搬运的碎屑物质，大部分都注入海洋，其次是湖泊。海、湖是流水搬运碎屑物质的最终场所。





(1) 碎屑物质在海水中的搬运和沉积作用

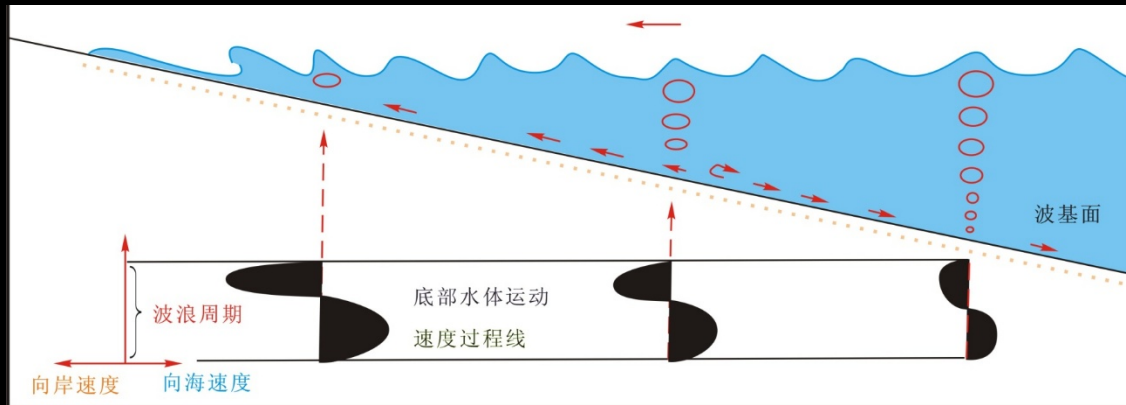
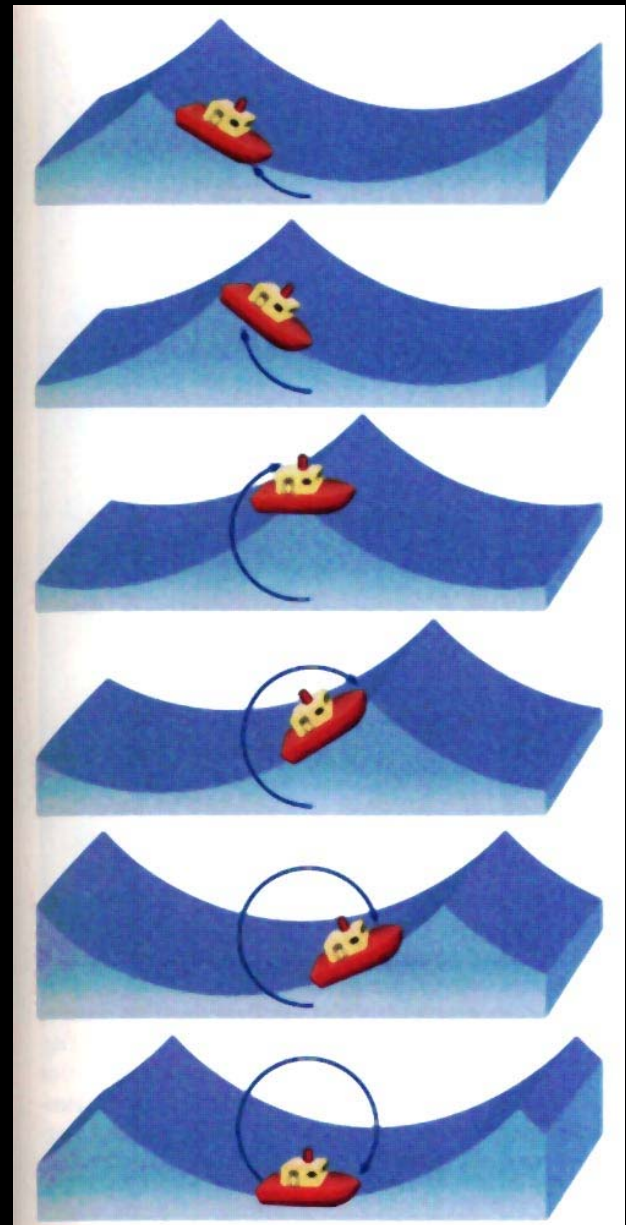
① **波浪**主要由风引起，波浪的大小主要取决于风的大小。



◆ **波基面**（浪底）（wave base）——波浪作用的下限，即波浪所影响的最大深度。

◆ 当波浪运动的方向与海岸垂直，而海底又位于浪底之上时：

- 远离海岸深水区：碎屑往返运动、向海方向运动；
- 近岸浅水区：碎屑作往返运动、向岸方向运动；
- 在二者之间的区域，碎屑只作往返运动。

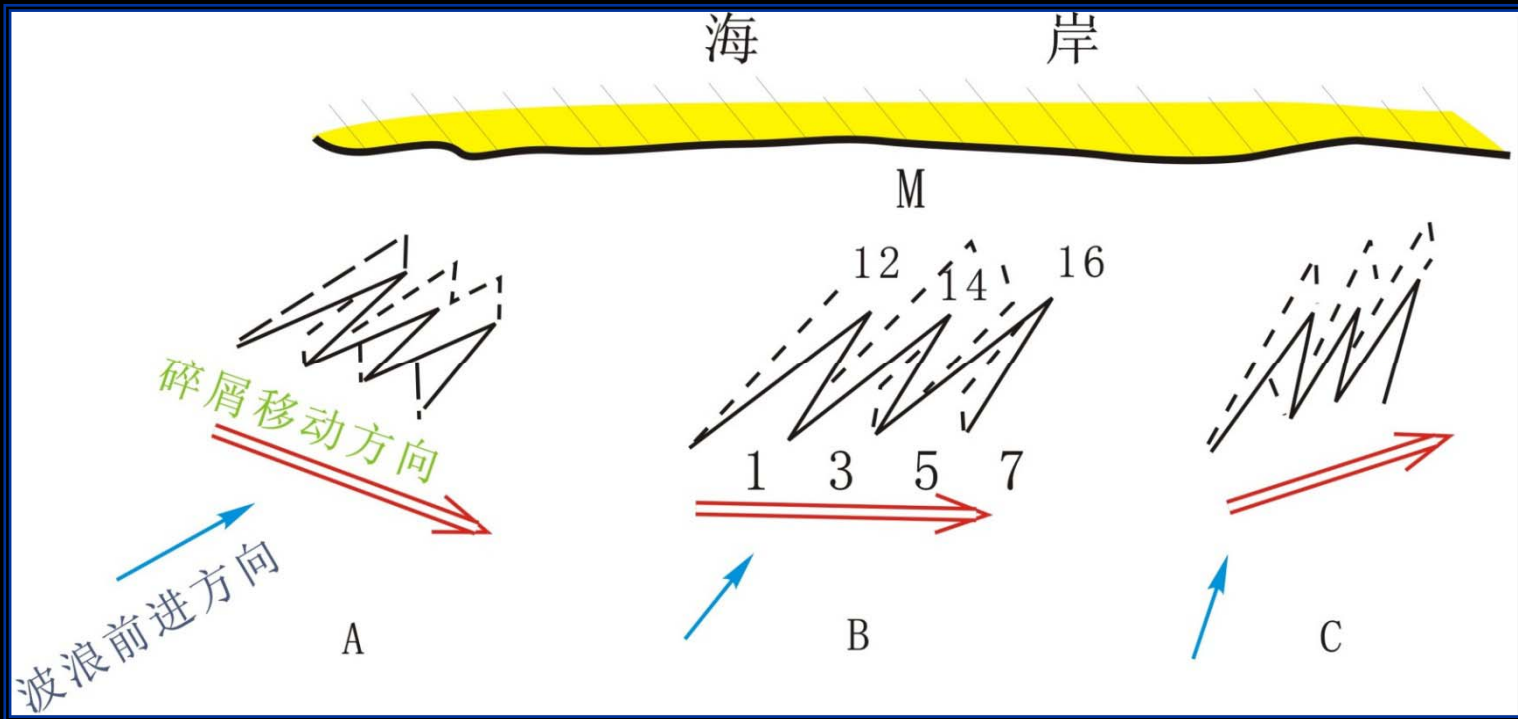


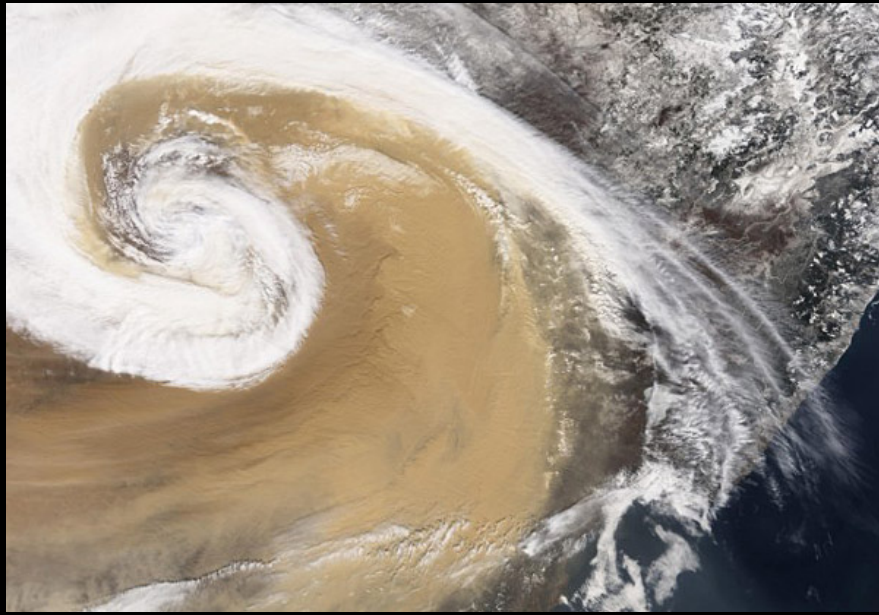
波浪底部水体运动、粗细物质分布及其与坡降的关系（据任明达，1985）

表面波向岸传递，总趋势是沉积物向海搬运。



◆如果波浪不垂直海岸，而与海岸斜交，则海底碎屑运动的路线呈更加复杂的“之”字形。其最大特点是波浪作用力方向与重力沿岸分力作用的方向不一致，而使物质沿着二者合力方向移动。



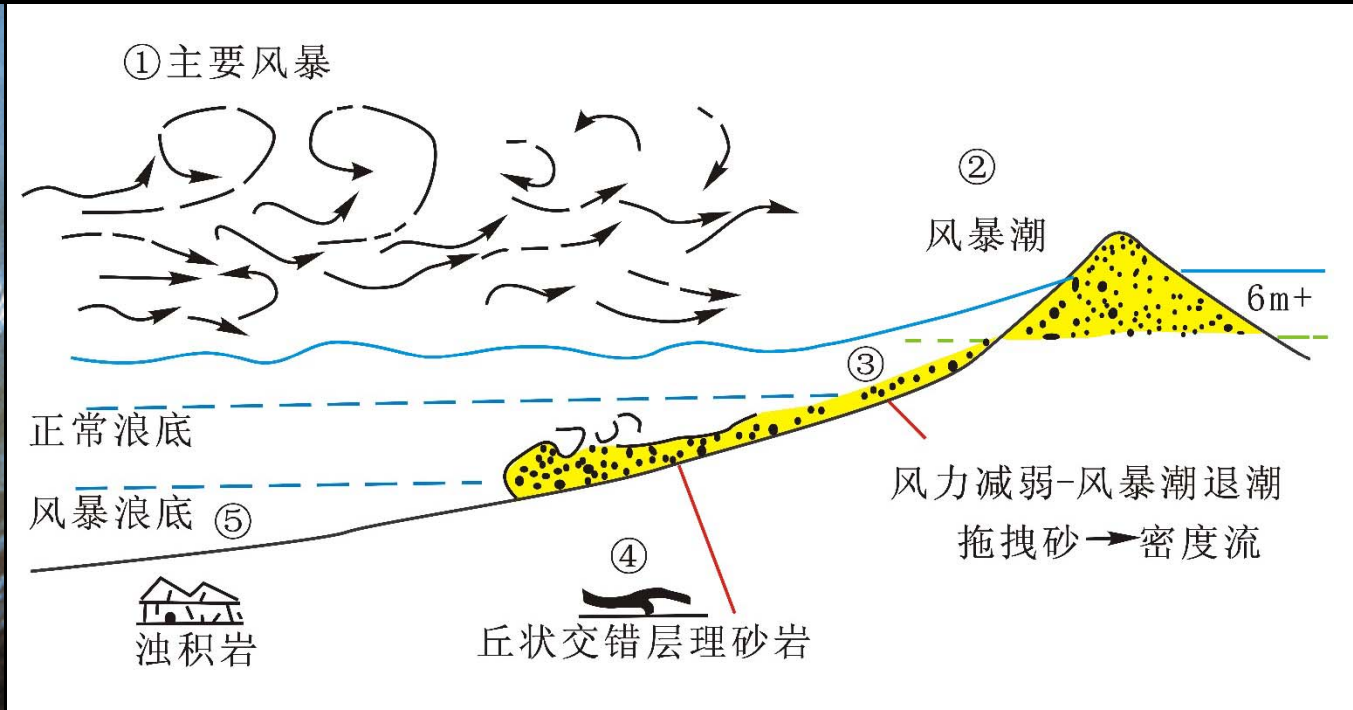


◆ 风暴浪





阵发性的风暴浪将浅海沉积物卷起而重新搬离或搬向海岸，形成**风暴沉积物**。



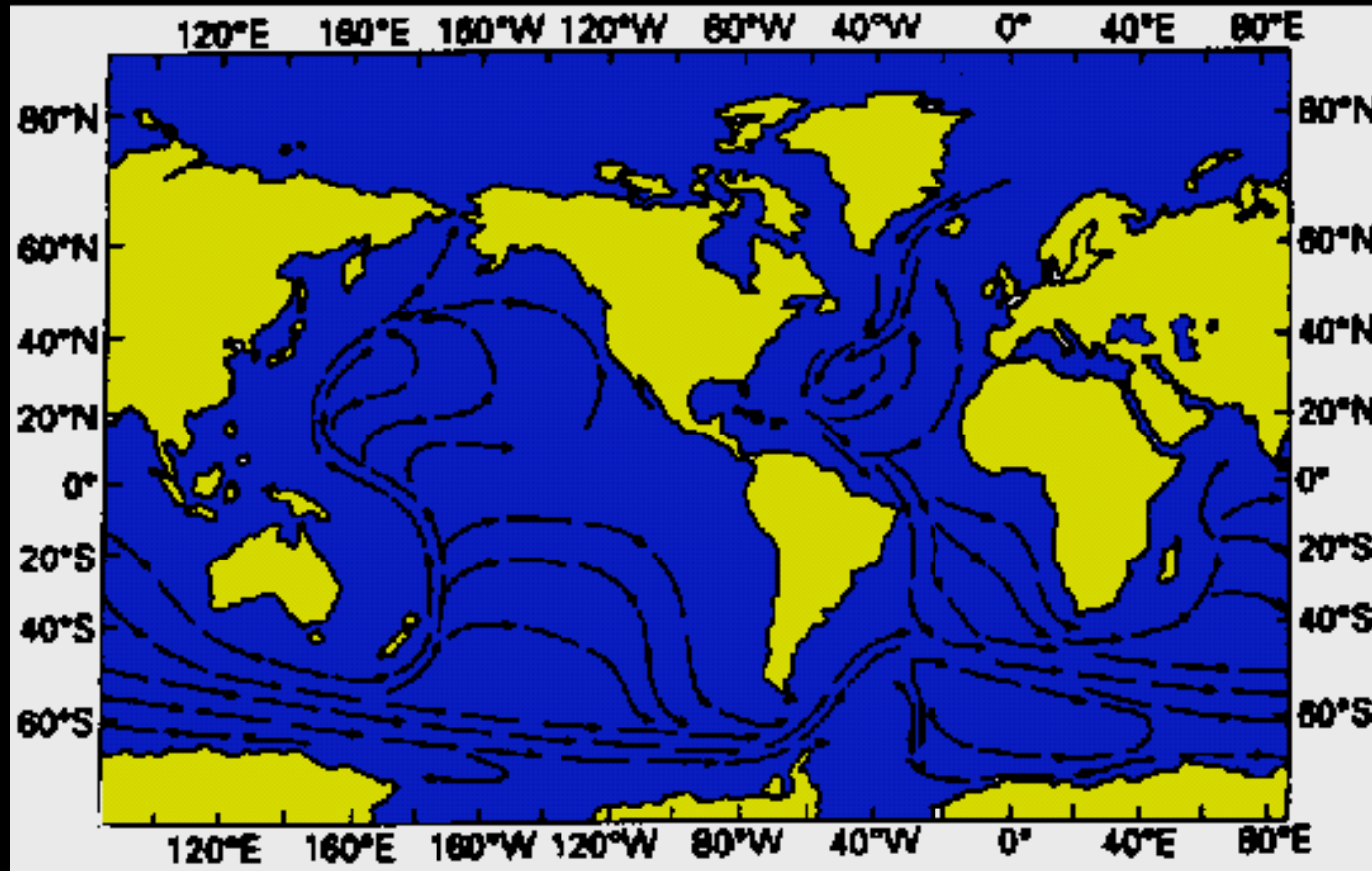


② **潮汐**作用对滨岸地区的碎屑物质影响很大，在潮汐作用带，水体作大规模地涨潮和落潮运动，因此也使水底的碎屑物质作相应的往返运动。





③近岸地带的海流或深海浊流、等深流、内潮汐流、冷流、暖流、赤道洋流和上返洋流等对碎屑物质的搬运和沉积均有一定的作用。





海水中搬运和沉积的碎屑物质特点：

在波浪、潮汐的作用下，碎屑物质长时间往复运动（海水对颗粒间的溶蚀、颗粒与海底间的碰撞与磨蚀、颗粒间的碰撞和磨蚀），其成熟度（成分、粒度、圆度等）比陆相环境中的碎屑物质高得多，沉积分异也进行得较为彻底。



(2) 碎屑物质在湖水中的搬运和沉积作用

与海洋相比，湖泊面积小，缺乏潮汐作用，因此，波浪和湖流是湖泊中搬运和沉积碎屑物质的主要营力。



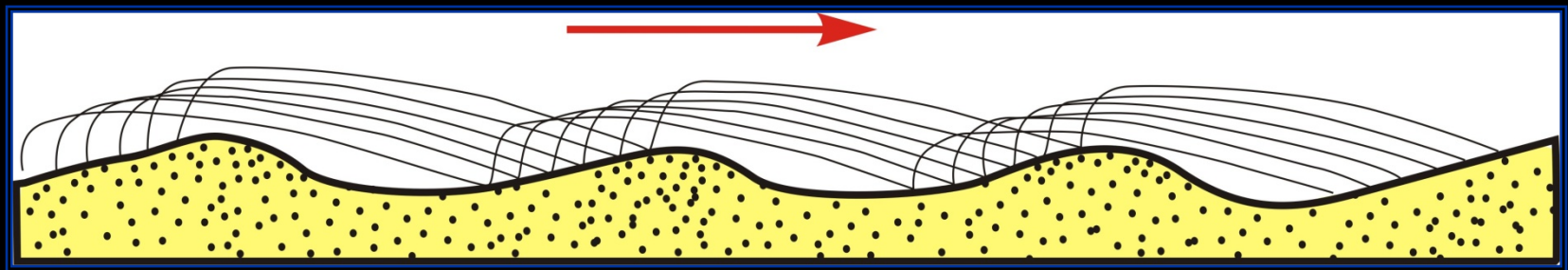
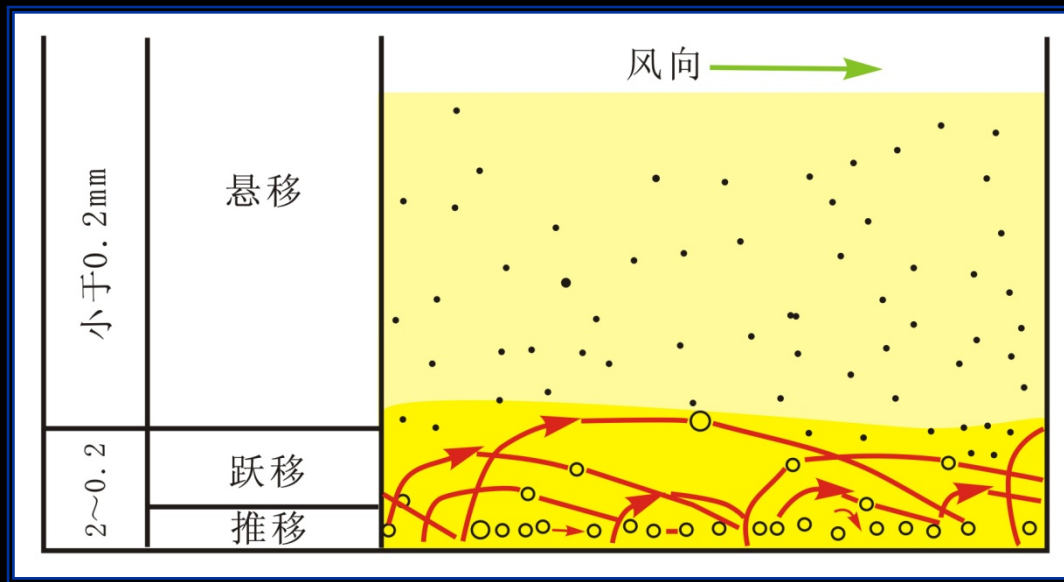
3.碎屑物质在空气中的搬运和沉积作用

Transportation and sedimentation of clastic materials in air

- 在干旱地区，风的搬运和沉积作用是主要的
- 风是碎屑物质在空气中搬运和沉积的主要营力
- 空气只能搬运碎屑物质，而不能搬运溶解物质
- 空气可以把沉积物从高处搬到低处，也可以将其从低处搬到高处



◆ 在正常地面条件下，搬运方式以**跳跃**为主（70~80%），其次是**蠕动**（<20%），而**悬浮**极少（<10%）。在一般情况下，搬运方式与粒度之间关系相当稳定。风力搬运的最大特点是碎屑呈**弓形弹道轨迹**前进。





风的搬运及沉积作用特点:

- ① 搬运能力远比水小，同样的速度下，风的搬运能力约为流水的 $1/300$ ，因此，风一般只能搬运较细粒的碎屑物质。
- ② 风的搬运能力有限，选择性较强，因此风成沉积的粒度分选性较好。
- ③ 空气密度小，颗粒碰撞磨蚀导致其圆度较好，常具霜状表面。





常见的风成沉积是各种沙丘和黄土





4. 碎屑物质在冰川中的搬运和沉积作用

Transportation and sedimentation of clastic materials in glacier

◆ 在寒冷的两极地区和高寒山区，冰川的搬运及沉积作用是主要的。





昆仑山雪线（海拔4400m）及冰川（摄于花土沟尕斯湖畔）



◆冰川的搬运与堆积

冰碛物—冰川携带的碎屑物质

冰川具有巨大的搬运能力



南极大陆冰盖





◆冰碛物的基本特征：

结构疏松，大小混杂，分选极差；

冰碛物中砾石磨圆极差；

一般缺乏层理构造。





本节要点:

- 层流与紊流、急流与缓流划分的依据（难点）
- 尤尔斯特隆图解的含义（重点）
- 沃克图解的含义
- 碎屑物质在流水中的搬运和沉积作用（重点）
- 浪基面的概念（重点）
- 碎屑物质在海水、空气中的搬运和沉积作用（重点）
- 碎屑物质在冰川中的搬运和沉积作用