

第二章 沉积物的来源（1学时）

第一节 概述

第二节 沉积物的主要来源—母岩风化的产物

第三节 沉积物的其它来源

- 一、生物来源的沉积物
- 二、深部来源的沉积物
- 三、宇宙来源的沉积物

沉积岩的地位

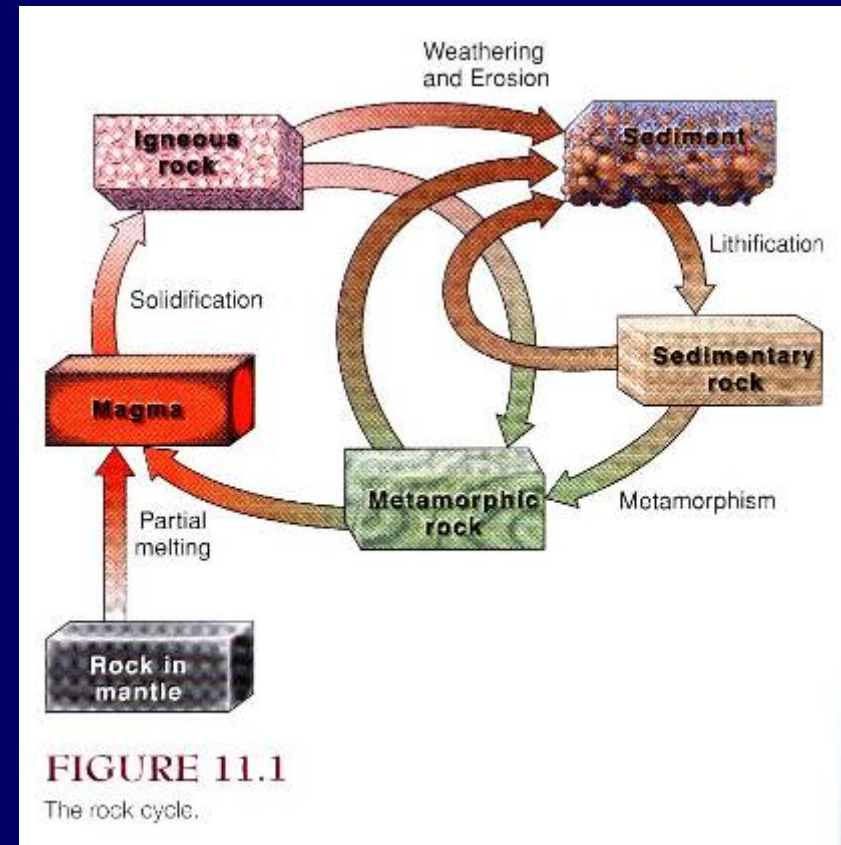
第一节 概述—1 / 4

沉积学研究的对象是沉积岩。

沉积岩主要包括火山碎屑岩、陆源碎屑岩、泥质(粘土)岩、内源沉积岩。

环境（相）标志中，成分标志是重要方面，研究沉积物来源,主要是为相标志中“成分标志”服务的。

问题：泥岩与粘土岩的区别？



沉积岩的形成和变化过程包括以下7个阶段：

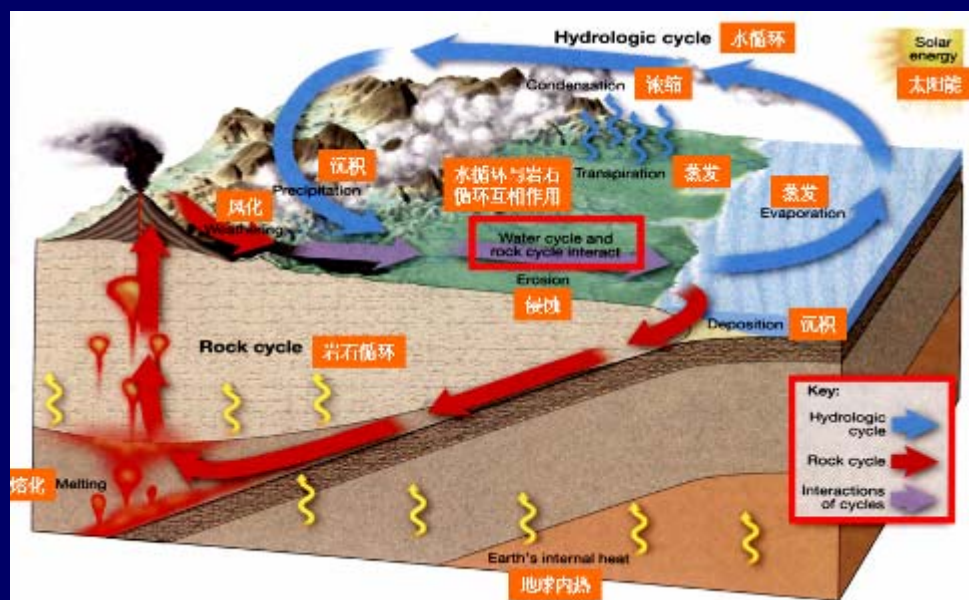
沉积物形成阶段

- 1、风化作用→
- 2、搬运作用→
- 3、沉积作用→

沉积期后阶段

- 4、同生作用→
- 5、成岩作用→
- 6、后生作用→
- 7、表生作用

岩石圈—水圈—大气圈的相互作用体系

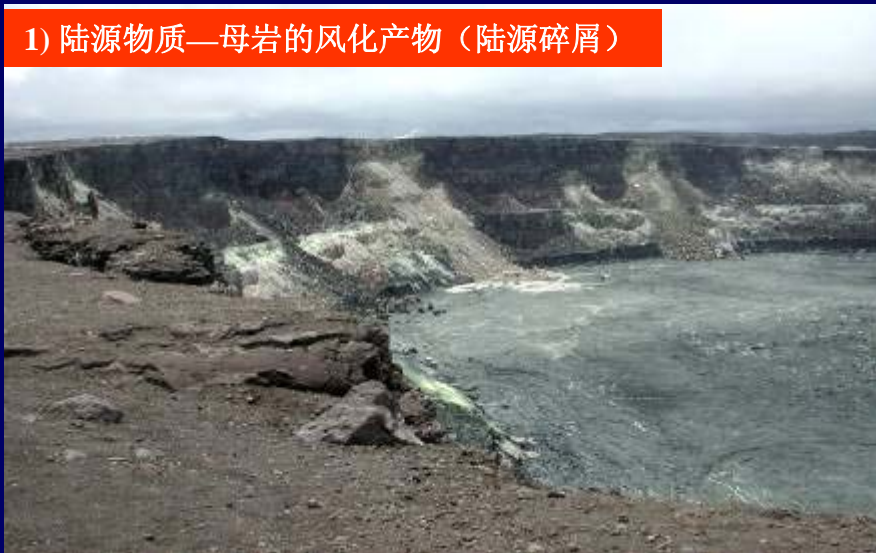


第一节 概述—3 / 4

3/45

沉积物的来源主要包括（4类）：

1) 陆源物质—母岩的风化产物（陆源碎屑）



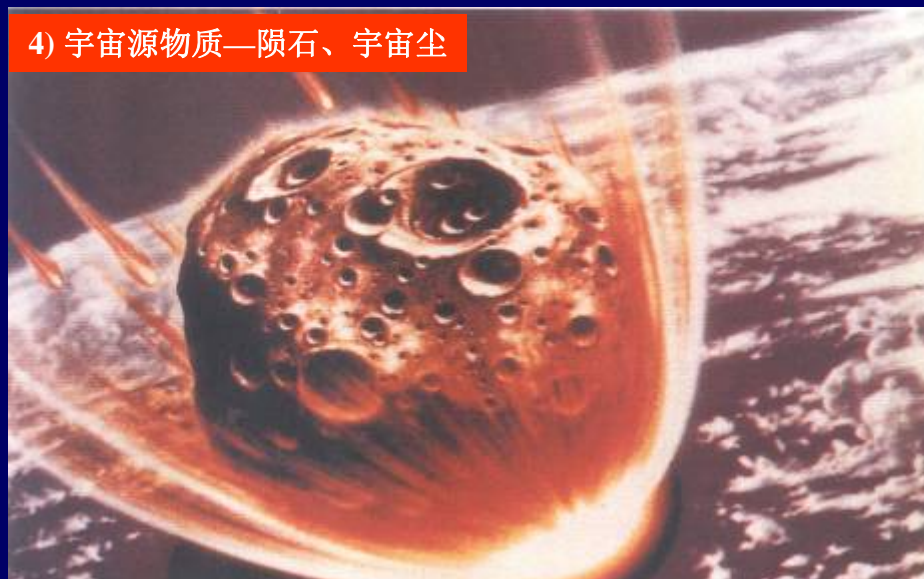
2) 生物源物质—生物残骸（生物碎屑）和有机质



3) 深源物质—火山物质（火山碎屑）和深部热卤水



4) 宇宙源物质—陨石、宇宙尘



几个概念：

风化作用：地表岩石在温度、大气、水、生物等作用下发生机械破碎和化学变化的过程。分为物理、化学、生物风化3种。风化阶段是沉积岩形成过程的第一阶段。

母岩：沉积物风化前的岩石。母岩可以是岩浆岩、变质岩、沉积岩。

物源区（母岩区）：供给沉积物的地区（母岩所在的地区）。母岩风化的产物分为3种：**碎屑物质、不溶残余物质、溶解物质：**

陆源碎屑：母岩经过风化后的碎屑物质（岩屑和单矿物碎屑）。陆源碎屑是分析物源区母岩类型的直接证据。如在河砂中淘金，下游是多条河流汇集，多物源；上游则容易找到物源区。

不溶残余物质：母岩化学风化（分解）过程中新生成的不溶物质（粘土矿物、氧化铁色素）。

溶解物质：化学风化的产物（真溶液和胶体物质）

一、风化带发育的阶段性的

硅酸盐矿物风化转变的一般阶段是：

钾长石→绢云母→水云母→高岭石（或蒙脱石）→氧化铝；
辉石→绿泥石→水绿泥石→蒙脱石→多水高岭石→高岭石→氧化铁；
黑云母→蛭石→蒙脱石→高岭石。

母岩风化过程分为四个阶段：

(1)碎屑阶段：物理风化为主，机械破碎成小块，风化产物为岩屑和矿物碎屑。

(2)饱和硅铝阶段：氯化物和硫酸盐全部被溶解， Cl^- 和 SO_4^{2-} 全部被带出。然后在 CO_2 和 H_2O 的共同作用下，铝硅酸盐和硅酸盐矿物开始分解，游离出 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 。这些阳离子的存在，使介质呈碱性或中性，使一部分 SiO_2 转入溶液。这个阶段形成的粘土矿物有蒙脱石、水云母、拜来石、绿脱石以及绿泥石等。

表2-1 玄武岩的风化过程					
		带出物质	带入物质	介质性质	阶段
<p>玄武岩</p> <p>↓</p> <p>机械破碎成小块</p> <p>↓</p> <p>辉石 $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$</p> <p>↓</p> <p>蒙脱石 $m\{\text{Mg}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2\} \cdot p\{\text{Al,Fe}^{2+}[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2\}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$</p> <p>斜长石 $(100-n)\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8] \cdot n\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7]$ (其中往往含微量$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$)</p> <p>↓</p> <p>水云母 $\text{K} < 1 \text{ Al}_2[(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$</p> <p>↓</p> <p>高岭石 $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$</p> <p>↓</p> <p>蛋白石 $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$</p> <p>↓</p> <p>铝土矿 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$</p> <p>含水氧化铁 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot p\text{H}_2\text{O}$</p>		无	无		I
		部分Ca、Na、Mg、K及少量SiO ₂	H ₂ O、O	碱性及中性	II
		大部分Ca、Na、Mg、K及部分SiO ₂	H ₂ O、O	酸性	III
		全部Ca、Na、Mg、K及部分SiO ₂	H ₂ O、O	中性及碱性	IV

(3)酸性硅铝阶段：碱金属和碱土金属大量被溶滤掉， SiO_2 进一步游离出来。随着有机质分解形成大量有机酸和 CO_2 ，转变为酸性介质。上一阶段形成的矿物（蒙脱石、水云母等）在这酸性条件下，成为稳定的不含碱和碱土金属的粘土矿物（高岭石、变埃洛石等）。

表2-1 玄武岩的风化过程

带出物质	带入物质	介质	阶段
无	无		I
部分Ca、Na、Mg、K及少量 SiO_2	H_2O 、O	碱性及中性	II
大部分Ca、Na、Mg、K及部分 SiO_2	H_2O 、O	酸性	III
全部Ca、Na、Mg、K及部分 SiO_2	H_2O 、O	中性及碱性	IV

(4)铝铁土阶段：铝硅酸盐矿物被彻底分解，碱金属和碱土金属全部游离出来，有机酸被地表水冲淡，使介质又呈中性或碱性反应，使 SiO_2 大量流失。全部可移动的元素都被带走，剩下铁和铝的氧化物及部分二氧化硅，在原地形成水铝石、水铝矿、褐铁矿、针铁矿、赤铁矿的沉积。

能否达到（4）铝铁土阶段，取决于：气候、地形、母岩性质和时间长短等。其中气候重要，在干旱区，长期处在碎屑阶段；温暖潮湿区可达到酸性硅铝阶段；潮湿炎热地区可达到铝铁土阶段。

二、主要造岩矿物在风化带中的变化(略)

1.长石类：受到碳酸的作用，析出K、Na、Ca等阳离子，并水化而变为水云母。

水云母在酸性介质中游离出部分 SiO_2 ，进一步脱 K^+ 而变为高岭石。

水云母在碱性介质中则可脱 K^+ 吸 Mg^{2+} 而变为蒙脱石。

在湿热的气候条件下，高岭石进一步分解，使其中 Al_2O_3 、 SiO_2 与羟基之间的联系消失，形成含水氧化铝和蛋白石的堆积。

2.铁镁矿物：稳定性均很低，其中以橄榄石最易风化，其次是辉石，再次为角闪石，故它们通常以含量很少的重矿物存在。

铁镁矿物在碳酸的作用下析出Ca、Mg、Fe等阳离子，同时发生水化。

在氧化和碱性条件下形成蒙脱石。

在弱还原条件下形成绿泥石。

蒙脱石在酸性条件下进一步转变为高岭石。

最后 SiO_2 全部游离出来，一部分呈胶体被带走，另一部分则成为蛋白石、玉髓留在原地。游离出来的 Fe^{2+} 则被氧化为含水氧化铁堆积在原地。由于风化后大量氧化铁的形成，造成风化产物都呈红棕色、棕褐色。

3.云母类：白云母的稳定性较大，故在沉积岩中较常见。但在较强的化学作用下也能游离出 K_2O 和部分 SiO_2 ，并水化而变成水云母，最后变为高岭石，在碱性条件下可变为蒙脱石。黑云母的稳定性较低，风化时常转变为水云母或绿泥石，最终变为高岭石、含水氧化物。

4. 氧化硅矿物:

包括石英、玉髓、蛋白石、鳞石英、方英石等，它们在碱性条件下会发生水解而溶解。氧化硅的溶解度取决于温度和pH。氧化硅矿物石英，在地表温度下的溶解度极低，可见石英的化学稳定性极高。

5. 粘土矿物: 形成于地表条件下，故比较稳定，其中以高岭石最为稳定，但在湿热气候条件下，经长期风化也可分解为氧化硅和氧化铝。水云母属风化初期产物，可进一步风化为蒙脱石和高岭石。

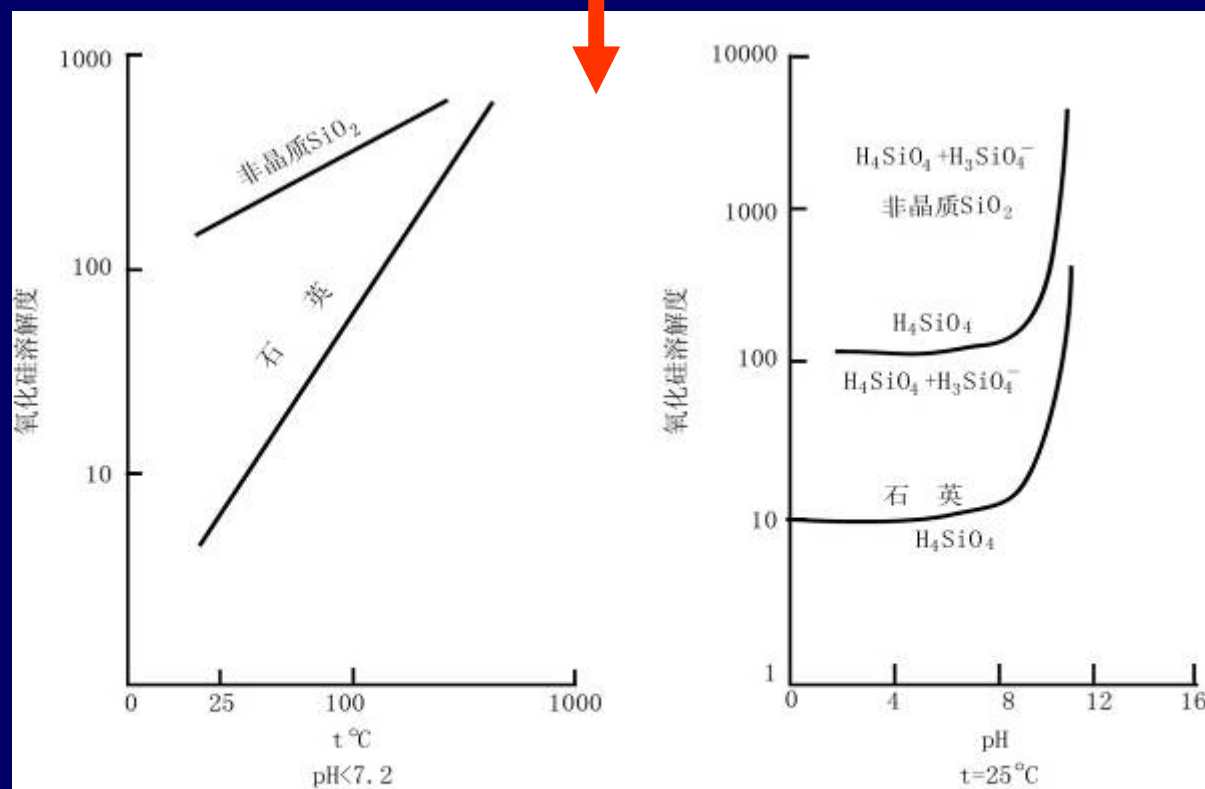


图2-2

6. 碳酸盐矿物:

主要为方解石和白云石。它们的风化主要表现为溶解作用，在富含 CO_2 的水中极易溶解。加上它们硬度小和解理发育，故也极易发生机械破碎。因此在沉积岩中极少见到碳酸盐矿物成为陆源碎屑保存下来。(问题: 灰岩砾石砾岩?)

风化程度取决于矿物成分:

超基性岩和基性岩主要为不稳定的基性斜长石和铁镁矿物，故易风化;

酸性岩主要由稳定的石英、钾长石、酸性斜长石组成，抗风化能力就较高;

石英砂岩，以机械破碎为主;

粘土岩只在湿热气候条件下才发生分解;

碳酸盐岩在干冷地区以机械破碎为主，在温暖潮湿地区则以溶解为主。

三、母岩风化的产物

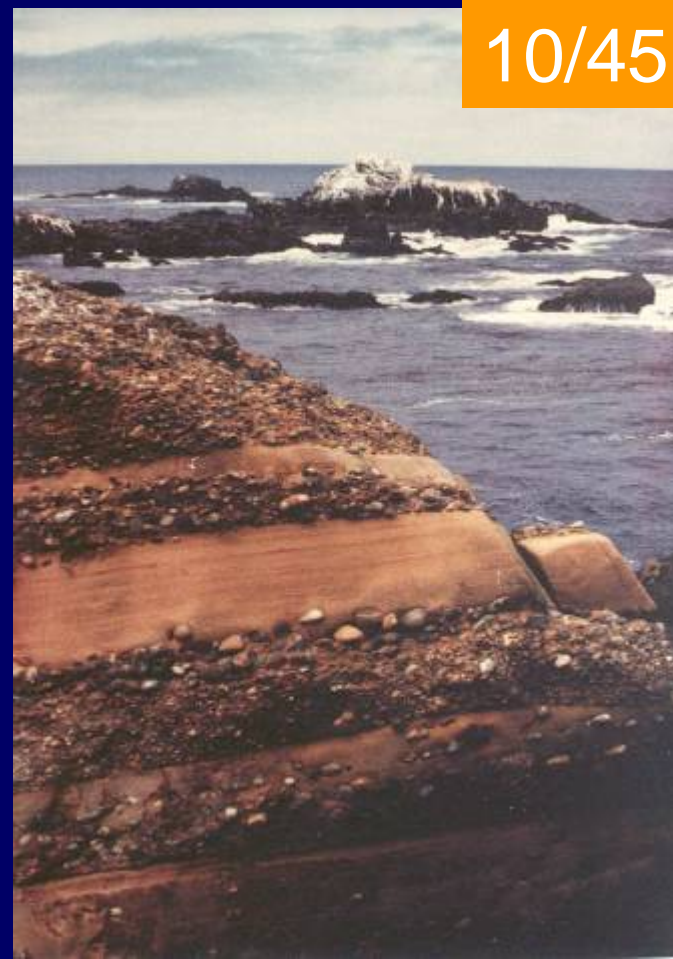
母岩风化的产物是沉积物的主要来源，它构成了沉积岩的基本物质（碎屑岩、泥岩、化学岩和生物化学岩）。风化的产物实质上是在地表条件下岩石发生重新分配、重新组合。

花岗岩的风化产物分为三类：

1. **碎屑物质**：机械破碎的产物，如石英、长石、岩屑、云母碎片，锆英石砂等。这类物质经过搬运-沉积-成岩后为碎屑岩。

2. **不溶残余物**：分解过程中新生成的不溶物质，如粘土矿物、氧化铁色素。粘土矿物为主形成泥岩、粘土岩。

3. **溶解物质**：呈真溶液被带走。如的 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 等，经化学沉积（淀）作用，形成化学岩和生物化学岩。胶体物质为过渡性质产物。



影响风化产物的因素:

1. 母岩的类型:

石英岩-形成碎屑

石膏、岩盐-形成溶解物质

2. 风化深度:

长石: 风化弱 \Rightarrow 风化中等 \Rightarrow 风化深

水云母 \Rightarrow 高岭石或蒙脱石 \Rightarrow 氧化铝

问题:湖相和浅海相的鉴别?

3. 风化作用的性质:

物理风化 \Rightarrow 碎屑物质

化学风化 \Rightarrow 溶解物质+不溶残余物

成熟度的概念：

表示沉积岩形成时，母岩风化的强度和搬运过程中的磨蚀、分选程度。包括成分成熟度(?)、结构成熟度(?)。

风化彻底时，形成成熟的沉积物，主要是粘土矿物和稳定的矿物碎屑，如石英、长石。

相反，风化不彻底时形成不成熟的沉积物，沉积物复杂，稳定和不稳定的矿物碎屑都有，还有较多的岩屑和重矿物。

第三节 沉积物的其它来源

一、生物来源的沉积物

生物硬体（外骨骼和内骨骼）—生物残骸（碎屑）；**生物软体**—有机质）。

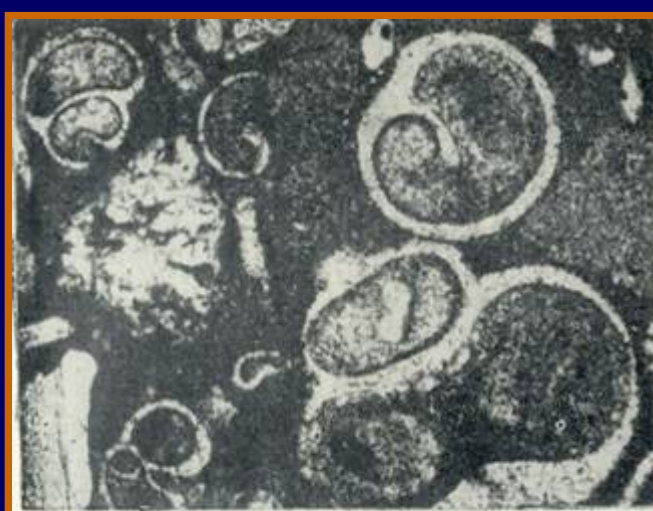
生物的硬体多数是碳酸盐质，少数是磷酸盐质和硅质。

生物碎屑是碎屑岩颗粒的一种。

生物软体（有机物）是由碳、氢、氧、氮、硫、磷等组成的碳氢化合物。沉积岩中的有机物经过沉积期后的生物化学作用，变得更为复杂，已发现有500多种有机化合物。

最基本类型为氨基化合物、碳水化合物、类脂化合物、木质素和色素。

氨基化合物和碳水化合物是在生物死亡埋藏后的细菌作用下，大部分被分解消耗掉，同时形成甲烷（油、气母质）；木质素（成煤的母质）和类脂化合物比较稳定（成油、气母质）。



照片 6-49 腹足类



照片 6-195 绿藻

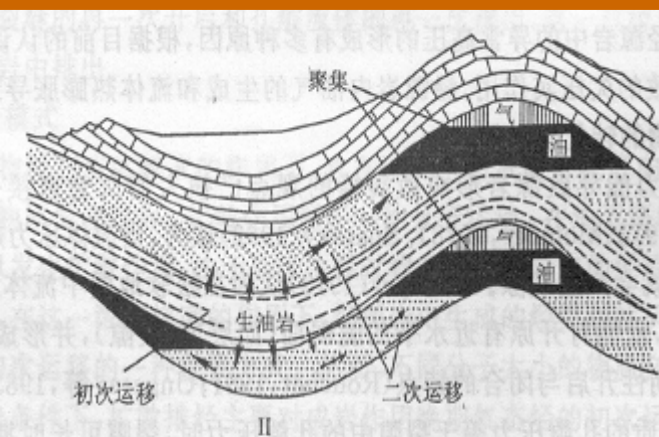


图 11-16 油气初次运移和二次运移示意图

(据 B. P. Tissot, 1978)

有机化合物经过埋藏成岩后生阶段的生物化学作用形成的最终产物为：

1. 不可溶物质——干酪根，它是指在常温常压下不溶于有机溶剂的固体有机质，在热解或加氢分解时则产生烃类物质。其中包括主要由单细胞藻类残体形成的腐泥质型（成油型）、主要由陆生植物残体形成的腐植质型（成煤型）和两者之间的过渡类型。

2. 可溶物质（溶于有机酸）——烃、沥青等，烃类（烷烃、环烷烃、芳香烃等）既是石油的主要成分，亦含于沥青中。沥青中还含有胶质、沥青质、碳氢质等有机组分。

二、深部来源的沉积物

指由火山作用带到地表的火山碎屑物及其伴生的气热液和沿深断裂流出地表的热卤水。

15/45



1. 火山碎屑物

岩浆溢出地表冷凝成熔岩，火山碎屑喷发到空中再降落地表堆积成火山碎屑岩，也可掺杂在正常沉积物中（凝灰岩夹）。

与火山碎屑物质喷发的同时还往往伴随有气热液的喷发，它们有时可成为某些内源沉积岩和沉积矿床（如硅、铁、有色金属）的重要物质来源。



汽车化石

二、深部来源的沉积物

1. 火山碎屑物

2. 深部热卤水

深部热卤水在成岩、成矿中具有重要的意义。其多数为氯化钙型或碳酸盐型，含钾、钙及重金属元素量较高。

现代热卤水分布广泛，不仅海底有，大陆上也有。

最著名的是红海海底热卤水，其盐度为7.2-25.7%，温度达34-56.5℃；

在苏联里海、美国加利福尼亚州等地区都发现有热卤水；

以色列在钻井100—3000m发现有多层热卤水；

东非裂谷的热卤水形成了某些咸水湖；

死海有由深断裂排出的热卤水。

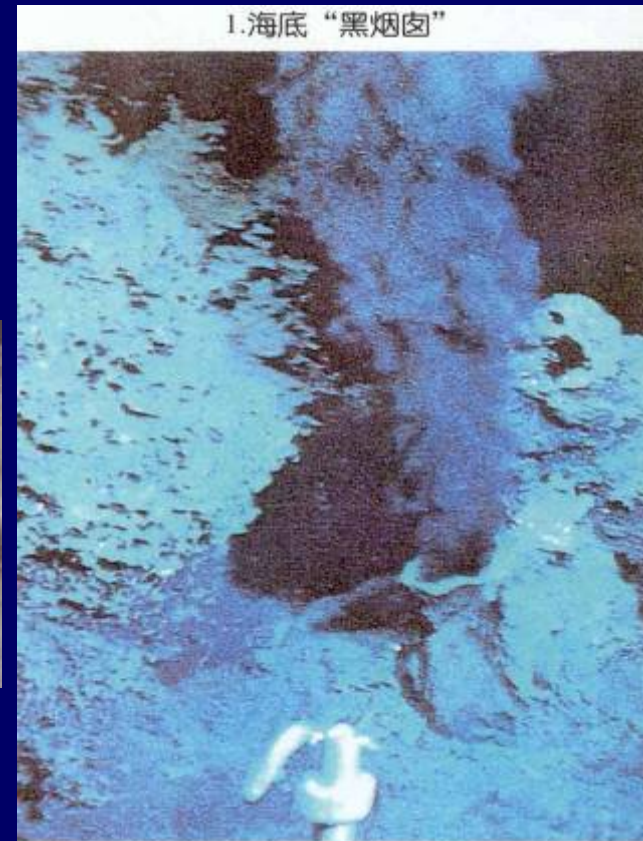
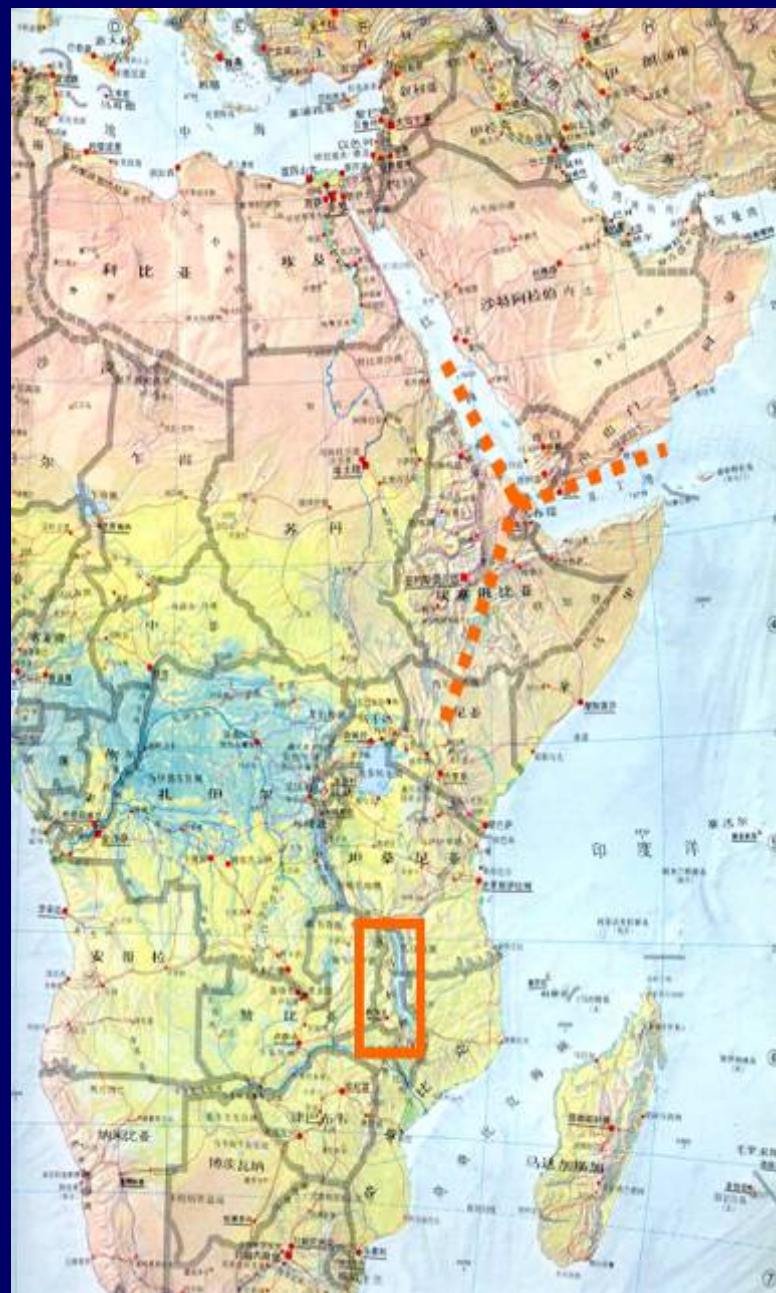




图 17 深海热液作用

图示深潜器探测洋中脊的深海热液活动。渗入海底下数千米深处的海水与上涌的岩浆进行物质交换并升温，从“黑烟囱”口呈热液喷出，形成金属硫化物矿床，并支持独特的“热液生物群”。



深部热卤水的成因：

- 1) 来自地壳深部或上地幔的岩浆水；
- 2) 深部埋藏的古卤水；
- 3) 油田水或地表水向下渗流萃取了地层中的盐类物质和金属元素形成的热卤水；
- 4) 多种成因的热卤水混合成混合型热卤水。

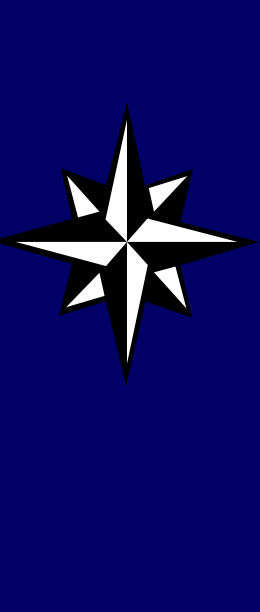
深部热卤水的意义：

在某些金属矿床形成中起重要的作用；
形成某些蒸发岩，如巴西和西非的白垩纪钾盐矿床富含 MgCl_2 、 CaCl_2 和重金属元素，认为除海水外，还有深部卤水的补给；
我国柴达木第四纪盐类沉积也认为有一部分成盐物质来自深部；
苏联有一个规模很大的晚侏罗纪石膏矿床，认为这样大规模的石膏沉积不可能由海水供给，可能来自深部卤水。
深部气热液和卤水可能成为萤石、天青石、重晶石等重要来源。

1. 陨石：宇宙空间的物质。陨石大小极为悬殊，1976年吉林陨石雨中最大陨石重达1770公斤，最小仅十几克；世界上还有重达数十吨的陨石，如西南非洲纳米比亚的霍巴铁陨石。

2. 宇宙尘：宇宙中极为细小的微粒，通常被称作宇宙尘埃。宇宙物质可能大部分成为尘埃状落到地球上。

与其它来源的沉积物相比，宇宙来源的沉积物数量是非常稀少的。



陨石



外星火山作用

太阳系中最大的火山是火星上的奥林匹斯火山。这是一个巨大的盾状火山，直径近 600 公里。山顶是个破口火山，高出环绕着火山的沙漠大约有 23 000 米。缓缓倾斜的山坡在 4 000 米高的地方突然变陡，直垂地面，在这幅由绕行于轨道上的空间探测器垂直拍摄的一系列照片的镶嵌图上，可以看得十分清楚。在木星的一对卫星上也可以发现火山活动。而在我们的月球和火星上常见的“火山口”却与火山作用完全无关，它们只是在过去某些天体形成时降落的陨石冲击而成的陨石坑。

陨石



多伦环

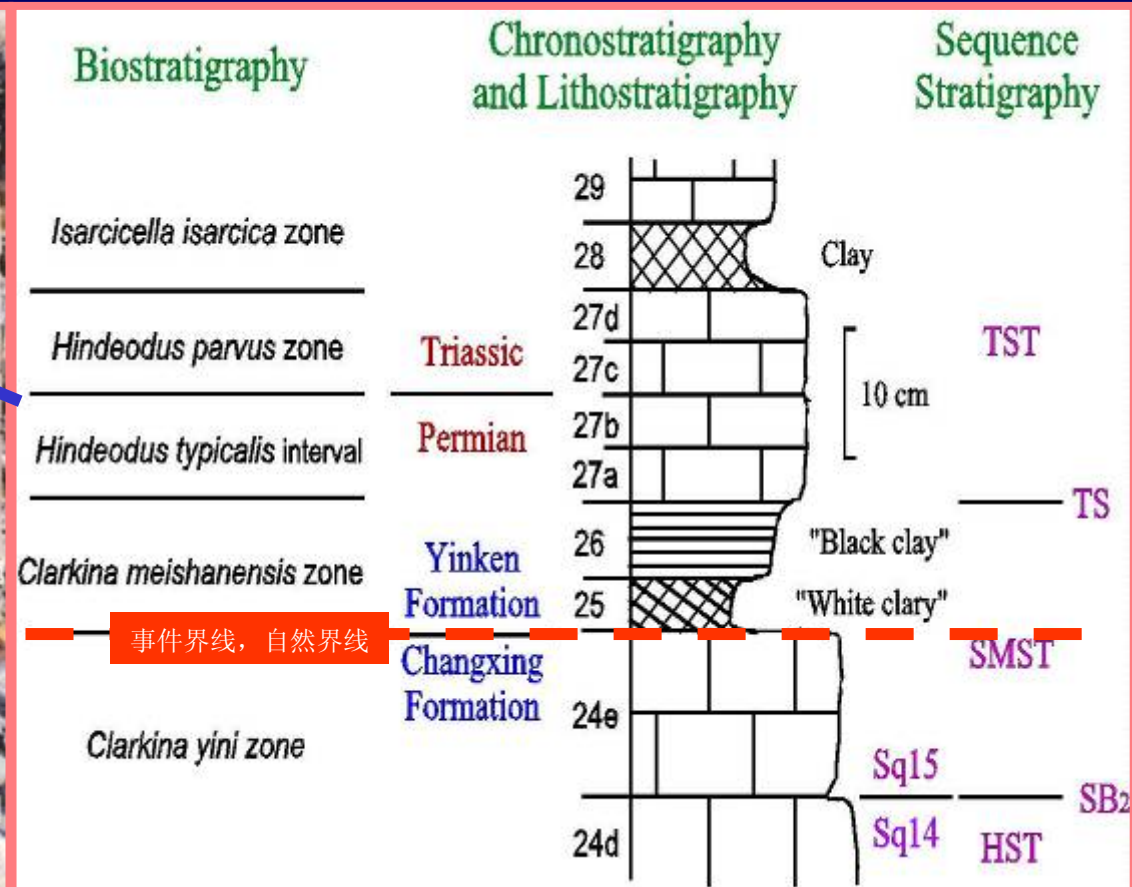
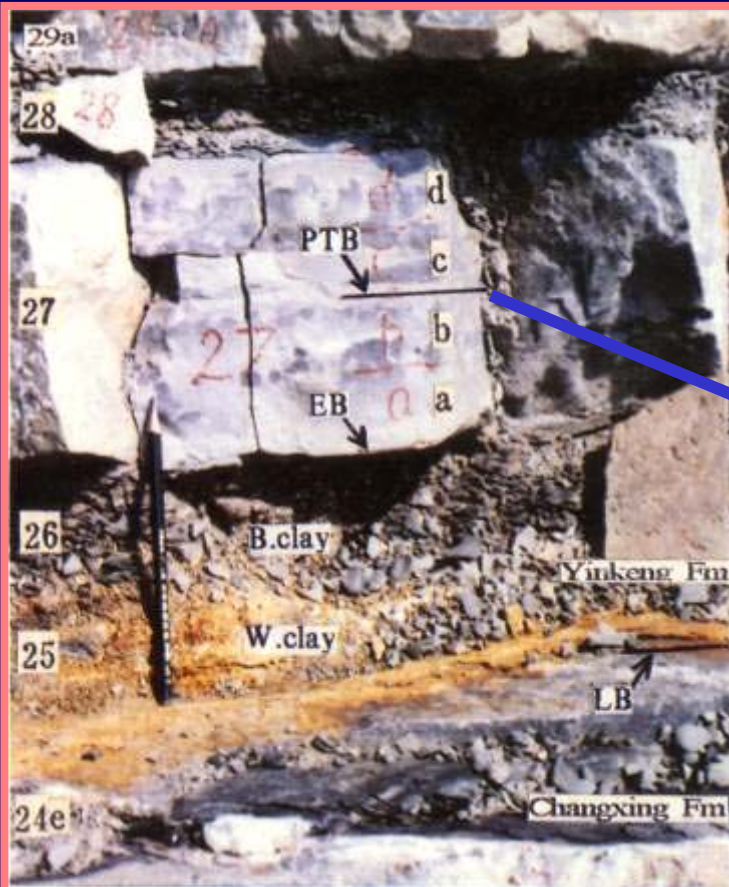
多伦



Where is the cosmic dust(宇宙尘)?

24/45

浙江长兴煤山剖面二叠系-三叠系之交岩石地层、
生物地层及层序地层界线之间的关系



主要概念：

风化作用 母岩 物源区 陆源碎屑

主要内容：

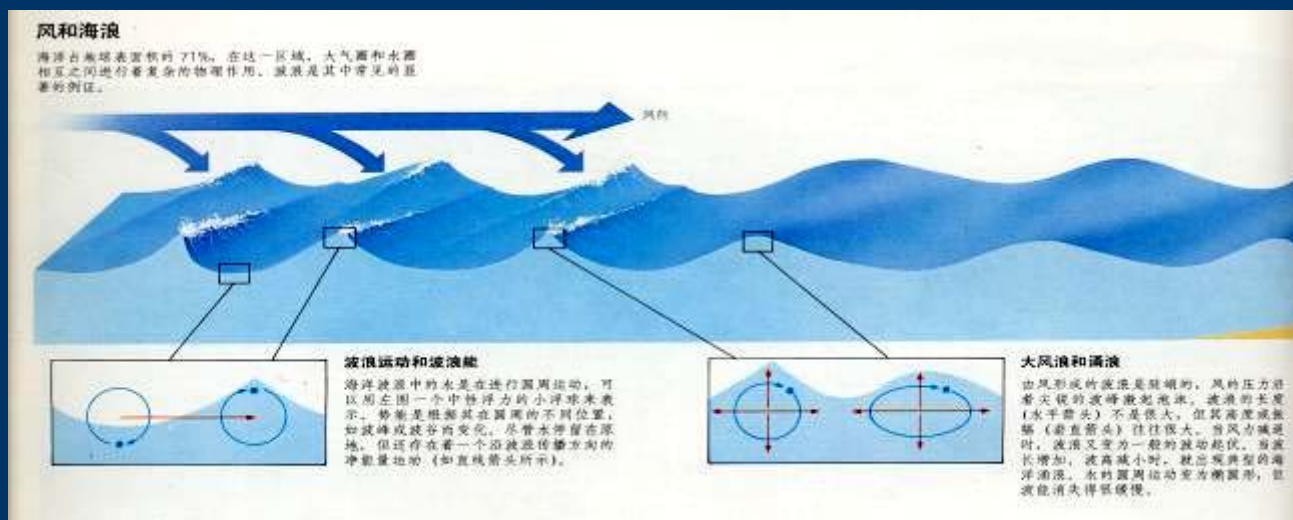
- 1、沉积物的四种来源
- 2、风化作用的类型及产物

思考题： 1、沉积岩的形成和变化过程包括哪些阶段？
2、风化作用的类型有哪些？

第三章 沉积学相关的流体力学基础

(1学时)

- 第一节 概述
- 第二节 流体的粘滞性和内摩擦定律
- 第三节 急流、缓流与福劳德数
- 第四节 层流、紊流与雷诺数
- 第五节 空气的几个流体力学问题



- ❖ 沉积学中沉积机理方面与流体力学的关系极为密切。
- ❖ 用流体力学原理解释机械沉积作用机理，获得巨大成效。
- ❖ 流体的概念：流动的物质称为流体。
- ❖ 流体力学的概念：研究流体在静止和运动时的力学规律，研究流体与其它物体(碎屑沉积物)之间的相互作用。
- ❖ 流体力学主要两个方面：一是流体的类型（水、空气、冰、油）与性质；二是流体所受的力（惯性力、万有引力、重力、粘滞力、弹性力、表面张力）。
- ❖ 流体运动是受机械运动的定律（作用力和反作用力）所制约。
- ❖ 在流体运动中，重力、粘滞力、弹性力和表面张力可以改变流体原有状态（作用力），唯有惯性力是维持流体原有运动状态（反作用力）。
- ❖ 因此，流体运动就是反作用力(惯性力)与其它作用力(重力、粘滞力、弹性力、表面张力)的相互作用的结果。作用力和反作用力相等时使流体保持平衡。

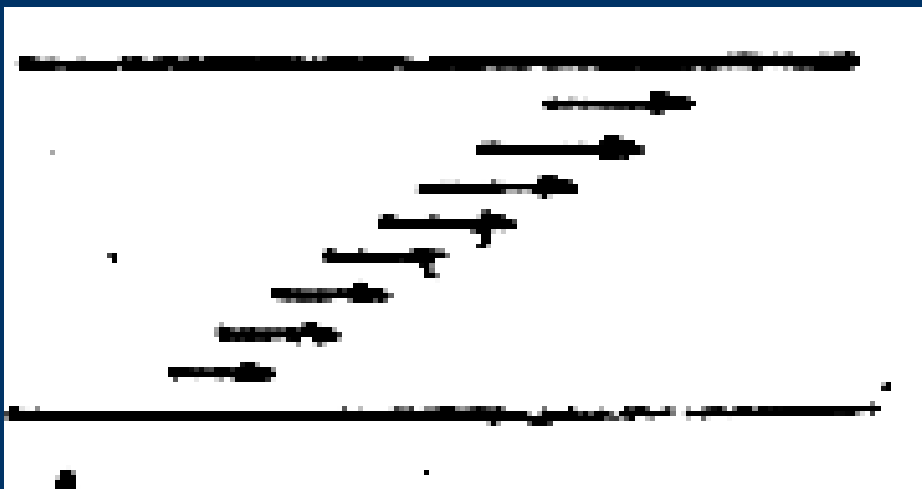
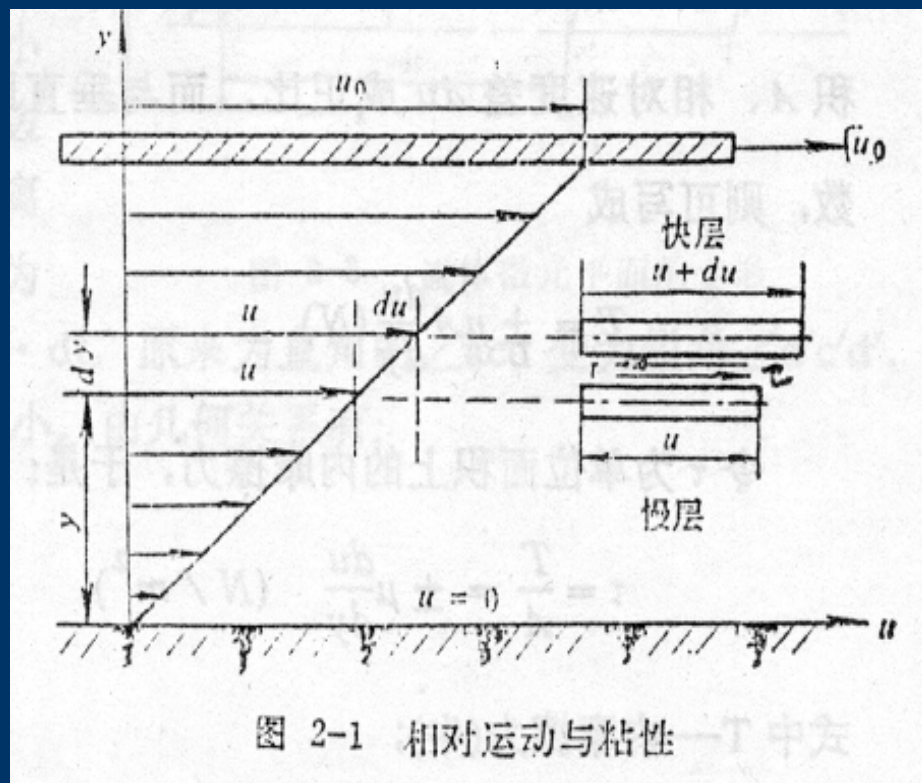
一、粘滞性的概念

拖曳力、阻滞力、粘滞力、粘滞性

动板实验：两块平行的平板，其间充满静止流体。当下板固定不动，上板以匀速平行下板运动时，两板之间的流体便处于不同速度的运动状态，即呈现出：附着在动板下面的流体层的运动速度与动板的速度相等，愈往下速度愈小，直到附着在定板上的流体层的速度为零这样的线性速度分布规律。

每一运动速度较慢的流体层(慢层)，都是在运动速度较快的流体层(快层)的带动下才发生运动的。

运动较快的流体层(快层)也受到运动较慢的流体层(慢层)的阻滞，而不能运动得更快。



一、粘滞性的概念

29/45

拖曳力、阻滯力、粘滯力、粘滯性

相邻流体产生相对运动时，快层对慢层产生的是一个拖曳力，使慢层加速(作用力)；相反，慢层对快层产生一个方向相反的阻滯力，使快层减速(反作用力)。

一对大小相等、方向相反的拖曳力和阻滯力称为内摩擦力(粘滯力)。

流体在静止时不能承受切力抵抗剪切变形；但在运动状态下，流体具有的抵抗剪切变形的能力，称为粘滯性。

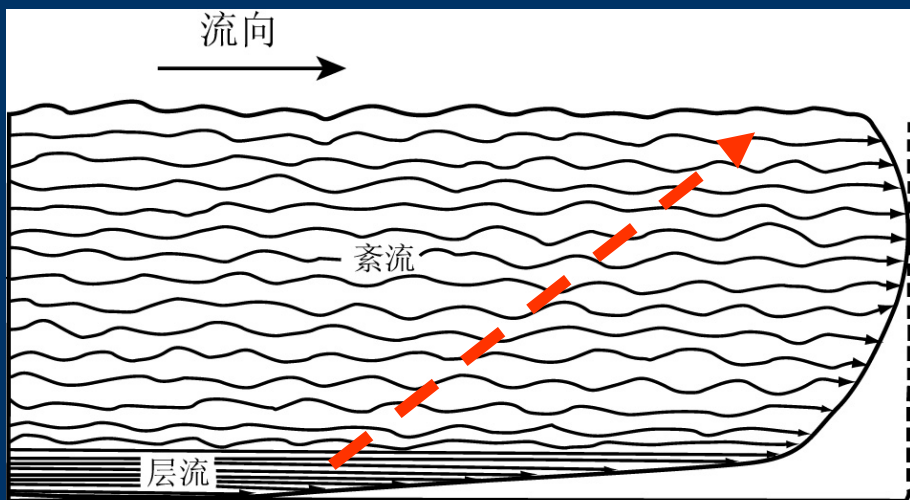


图3-6

在河道中的流水，因受固体边界影响，使得由河底往上流速逐渐增大，由于各水层的流速不同，各水层之间就要产生相对运动，从而产生成对的切力（拖曳力、阻滯力）。

粘滞流体:

流体都具有一定的粘滞性。当它沿容器器壁流动时，由于附着力的作用，与壁紧接的一层粘附其上(流动慢)，而邻层则相对于这层滑动(快)，这是因为，流体流动受到阻力。所以，流体具有粘滞性。

流体的粘度对流动影响极大。

粘度小，流动性好，摩擦阻力小；

粘性大，流动性差，增加了流体摩擦阻力。

粘滯性：

粘滯性的概念：流体内部阻碍其相对流动的一种特性。

如上所述，平行于流动方向，相邻流层之间存在粘滯力。

粘度的表示：相距1厘米的两层速度相差表示为： 1cm / 秒，则作用在 1cm^2 上的粘滯力规定为流体的粘滯系数(单位：泊)。表示流体粘滯性的大小。

粘滯系数随温度而变，当温度升高时，液体的粘滯系数减小，而气体则增加。下表为几种流体的粘滯系数：

	水	甘油	空气
20°C	0.01	8.3	1.8×10^{-4}
30°C	0.008	6.3	1.9×10^{-4}

二、牛顿内摩擦定律(粘滞定律)

内摩擦力、内摩擦定律、牛顿流体、非牛顿流体

内摩擦力：一对大小相等，方向相反的拖曳力和阻滞力。

内摩擦力(F)与接触面积(A)和相对速度差(dv)成正比，而与垂直距离(dz)成反比，这一结论称为牛顿内摩擦定律(或粘滞定律)，

表示为：

$$F = \eta A \frac{dv}{dz}$$

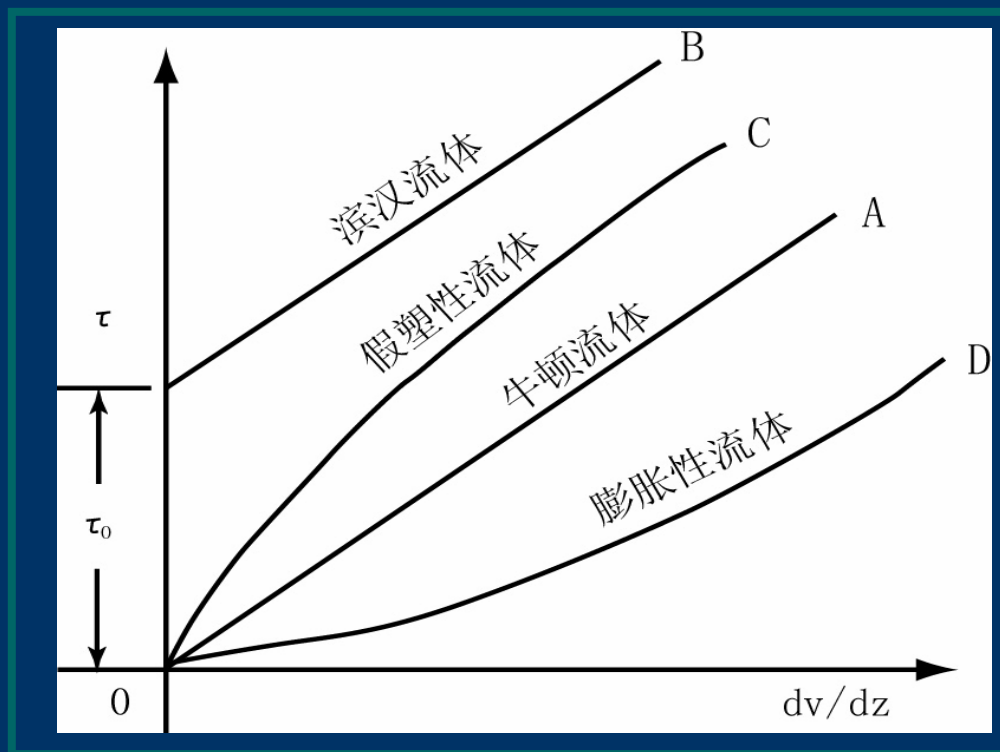
式中：

F：内摩擦力(牛)；

dv/dz ：流速梯度(秒^{-1})(沿垂直水流方向单位距离的流速变化值也称剪切变形率)；

A：接触面积(m^2)；

η ：与流体种类、温度有关的系数，称为动力黏滞性系数（运动黏度）(帕·秒，即 $\text{Pa} \cdot \text{s}$)。



各种类型流体的粘滞系数(η)与黏滞剪切应力(τ)和流速梯度(du/dy)关系

τ 为黏
滞切应力

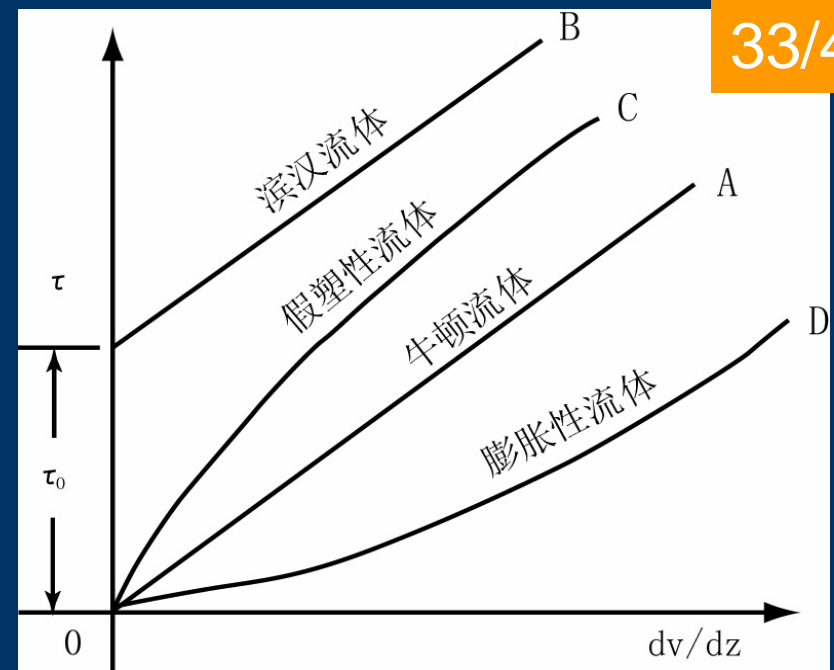
$$\tau = \eta \frac{dv}{dz}$$

影响流体粘滞系数变化的因素有：流体种类、压力、温度。

对于水和空气， η 随压力的变化不大；但受温度的影响明显，随着温度升高，水的 η 值呈降低趋势，而气体的 η 值呈增大变化。

所以，这个内摩擦定律不是所有的流体都能适用。

凡是服从内摩擦定律的流体称为牛顿流体。即温度不变的条件下，随着流速梯度和剪切应力的变化， η 值保持一常数。



气体和分子结构简单的液体，如空气、水及油属于牛顿流体。牵引流为牛顿流体(图3—1A)。

把不服从内摩擦定律的流体称为非牛顿流体。例如重力流、血液、高分子液体等是非牛顿流体(图3—1B)。

牛顿流体的内摩擦力与速度梯度呈线性关系，而非牛顿流体不是线性关系。

假塑性流体和膨胀性流体： η 值随内摩擦力的增加而减小或加大 (图3—1C、D)。

宾汉流体：当内摩擦力达到 τ_0 后才开始流动 (图3—1B)。沉积物重力流即属宾汉流体。

流体流动分为管道流和明渠流两种类型。

前者是流体充满了管道，为有压流；后者为液体表层与大气接触的自由表面，是在重力作用下的流动，为无压流。



按流动强度，流体可分为：急流、缓流和临界流三种流态。

急流和缓流表示流体的流动强度。它们定性的区别可观察流水遇到障碍物时的表现(图3—2)。

急流在障碍物处激起浪花，一涌而过，只在障碍物处水面有所升高，对稍远的上游水面不发生任何影响。

缓流在障碍物处（下游方）发生水面跌落，而障碍物上游水面发生壅高，并延伸到上游相当远处。

福劳德数的概念： 是无量纲数，表示流体的流动强度，是判别急流和缓流的定量准则，福劳德数 (Fr) = 惯性力 (v) / 重力 (g)。式中， h 为水深。

$$Fr = \frac{\text{惯性力}}{\text{重力}} = \frac{v}{\sqrt{gh}}$$

急流、缓流、临界流的福劳德数标准：

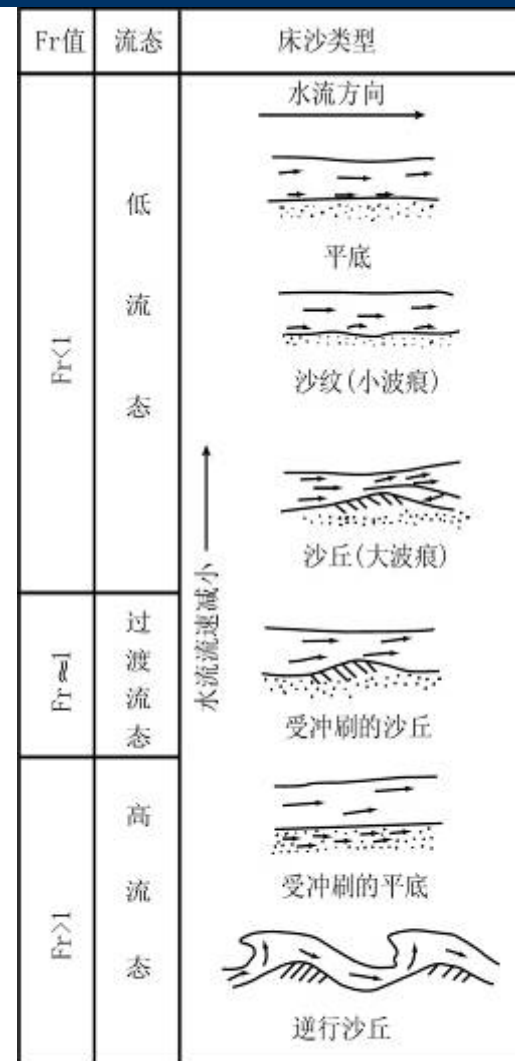
缓流： $Fr < 1$ ，惯性力小于重力，是重力起主导作用下的流动。

临界流： $Fr = 1$ ，惯性力相于重力。

急流： $Fr > 1$ ，惯性力大于重力，是惯性力起主导作用下的流动。

明渠流中，急流和缓流的变化是受重力控制，要使 Fr 值达到 1，要求水深 10m，流速 9.9m/秒，这样高的流速在自然界中极为罕见。在浅水的海洋环境中，一般只有 2m/秒时速度。因此，急流一般是局部地段或几厘米—几米的浅水条件下出现。

缓流 $Fr < 1$	无颗粒移动的平坦床沙	水体平静，无颗粒运动，底床平坦，即无沙纹及沙丘迁移	水平层理
	沙纹（小波痕）	波高 $< 5\text{cm}$ ，波长 $< 30\text{cm}$ ，流速小，水面平静或具小型波浪现象	小型交错层理
	沙丘（大波痕）	流速 50cm/s ，波高 $10\text{--}20\text{cm}$ ，波长可达几米，水面出现汹涌波浪。沙纹和沙丘都是属异相波，即水面的波形与床沙波痕表面的位置不一致	大型交错层理
临界流 $Fr \approx 1$	受冲刷的沙丘（受冲刷的大波痕）	波痕规模大，波长几米—几十米，波高 $< \lambda$	海滩冲洗交错层理
急流 $Fr > 1$	受冲刷的平坦床沙	颗粒的移动平行于水的流动方向	平行层理
	逆行沙丘	向上游移动的波浪状床沙形体，表现为向上游一侧进行加积，下游一侧受到侵蚀。水面波形与底形波痕一致，属于同相波。	逆行沙丘层理
		当水流的振动波幅变化大时，局部能生成高能量的波浪，最后加大流速，形成冲槽和冲坑	



第四节 层流、紊流与雷诺数

37/45

一、层流、紊流与雷诺数

层流、紊流和雷诺数表示流体的流动状态。

流体有两种不同的流动状态：层流和紊流。雷诺水槽实验：微开阀门A，再将阀门B打开，使红颜色水流入玻璃管中，观察显示红色液流质点的运动轨迹。此时，由于管内流速较慢，流体质点的运动有条不紊，呈不混杂并呈现分层流动的状态，这种流态称为层流（图3-4a）。小开水龙头、细水长流。

阀门A开大，流束呈现波纹状，上下摆动，称此为过渡状态（图3-4b）。

阀门A继续开大，使管中流速增大，直到流体质点的运动呈分层流动状态被破坏，发生互相混杂，并且有纵向脉动，这种流动状态为紊流（图3-4c）。大开水龙头的水流状态、瀑布、洪水等。

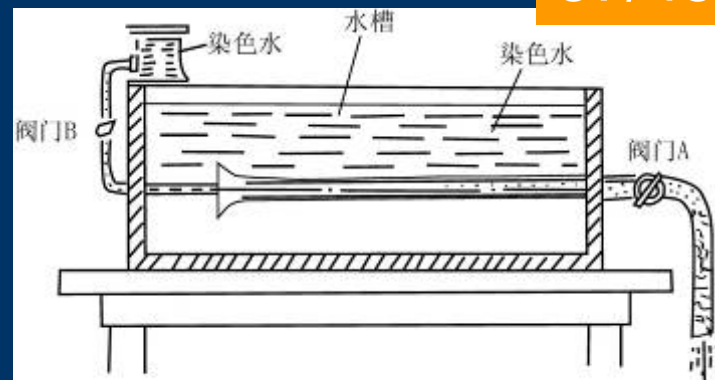


图3-3

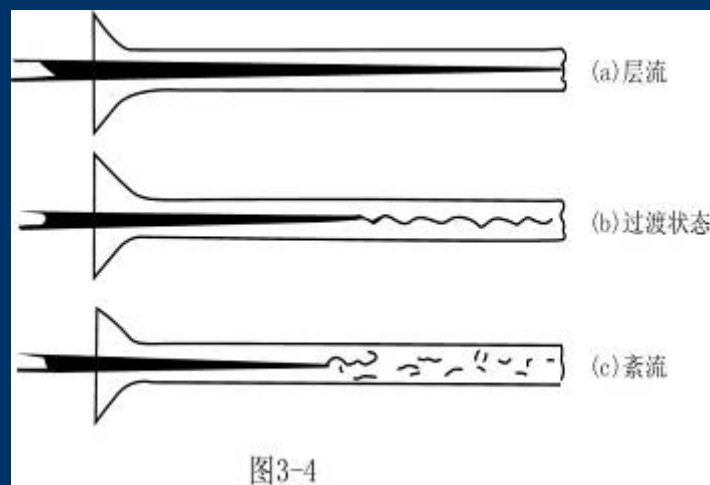


图3-4

可见，随着水流流速加大，层流可以转变为紊流；反之，随着水流流速减小，紊流可以转变为层流，这种流体形态转变时的平均流速(V)叫做临界流速(V_K)。

雷诺通过实验表明，流动形态不仅与流速有关，还与流体的粘滞系数、密度、管道直径有关。

流速、密度、管道直径愈大就愈易转变为紊流，粘滞系数愈大则愈不易转变为紊流。

不论密度、粘滞系数、管道直径如何变化，其惯性力与粘滞力的比值却是固定不变的，而且是一个无量纲数。

将平均流速(v)、管道直径(d)、黏滞系数(η 或 ν)和密度(ρ)归纳为一个无量纲数，称为雷诺数。

$$Re = \frac{\text{惯性力}}{\text{黏滞力}} = \frac{vd\rho}{\eta} = \frac{vd}{\nu}$$

雷诺数的概念：是无量纲数，表示流体的流动状态，是判别层流和紊流的定量准则，雷诺数是贯性力与粘滞力比值。



在管道条件下:

层流: $Re < 2320$ 时为层流, 一种缓慢流动, 流体质点有条不紊的平行的线状运动, 彼此不相掺混。

临界流: $Re = 2320$ 时为临界流, 流动状态介于层流与紊流的转换点, 其对应的是临界流速。

$Re > 2320$ 时为紊流, 紊流是一种充满了漩涡的急湍的流动, 流体质点的运动轨迹极不规则, 有纵向运动, 其流速大小和流动方向随时间而变化, 彼此相互掺混



图3-5

B-1(lamtoturb,
层流与紊流). Mov—“见动画”





但是，在明渠条件下，层流与紊流的雷诺数值范围与管道条件是不同的(即临界雷诺数不等于2320)。它应该用水力半径(R)代替管道直径(d)来计算临界雷诺数，因： $R=1/4 \times d$ ，为管道条件下2320的1/4，其临界雷诺数应为500。

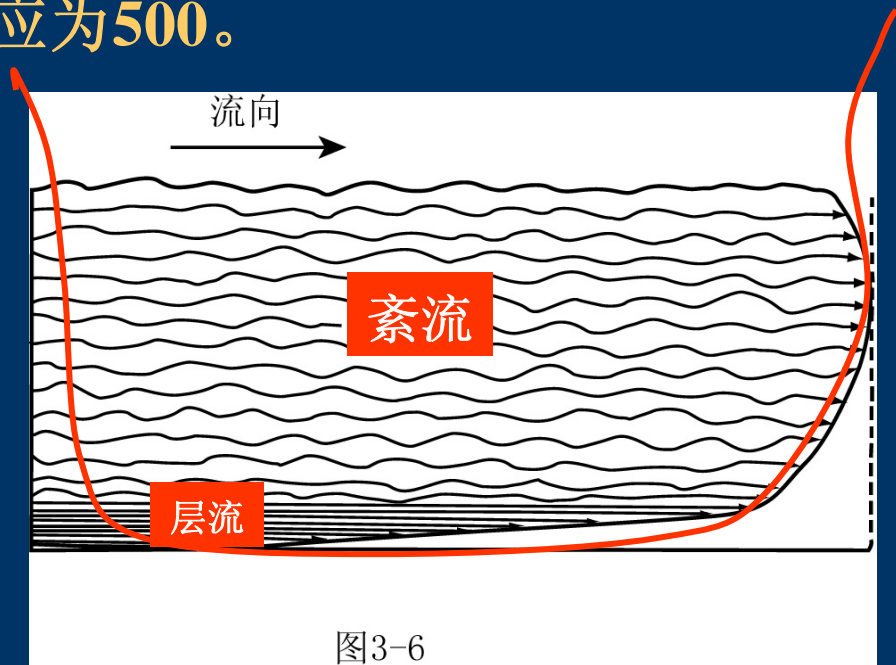


图3-6

第五节 空气的流体力学

大气圈是地球的空气层。分为对流层、平流层、中间层、热成层、外大气层等。天气现象发生在对流层内。

41/45

一、空气的流态

水流在管道条件下
临界雷诺数为**2320**；明
渠条件下临界雷诺数为
500。

空气：以大气圈的
对流层上限为界（即不
是整个大气圈），其临
界雷诺数为**1400**；当风
速超过1m/s时，空气呈
紊流状态。



低层大气

气球

内充氦气，早在本世纪30年代就载人上升至20公里的高度。

气压

平流层下部的气压是海平面气压的十分之一。

喷气飞机

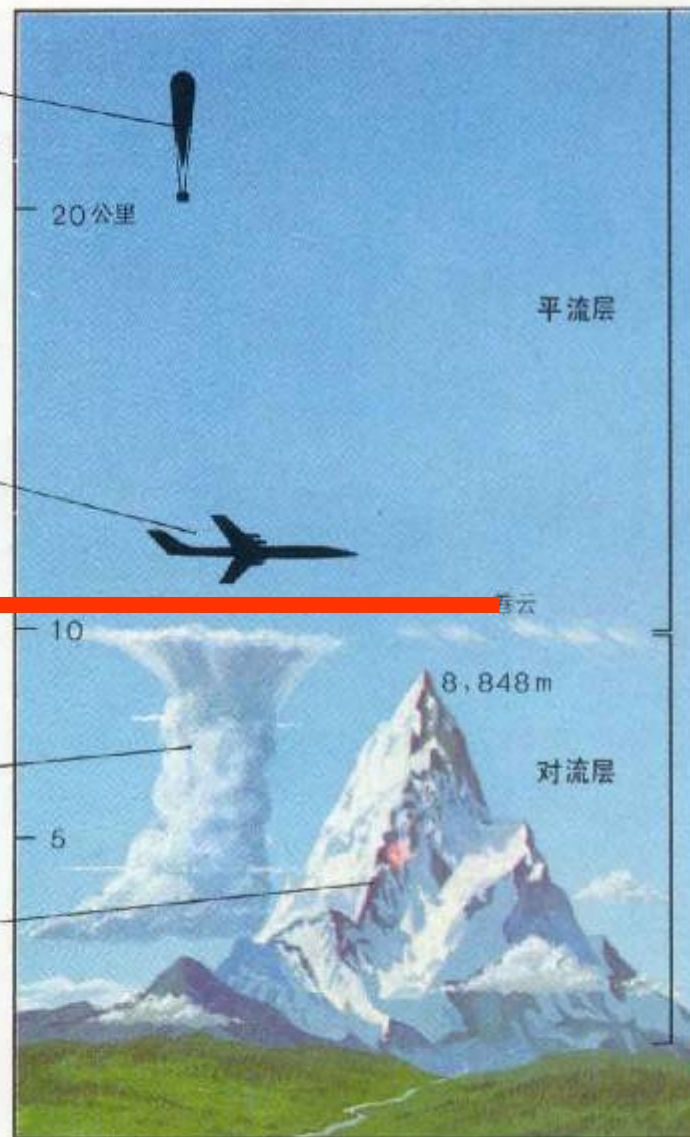
带有加压舱，常规飞行高度在10公里或更高，故无气候变化，飞行比较安全。

热带雷雨云

可上升到对流层和平流层交界处，即对流层顶。

最高的山脉

高出海面8公里以上。但是大多数人在4公里的高度上，就会因空气稀薄感到呼吸困难。



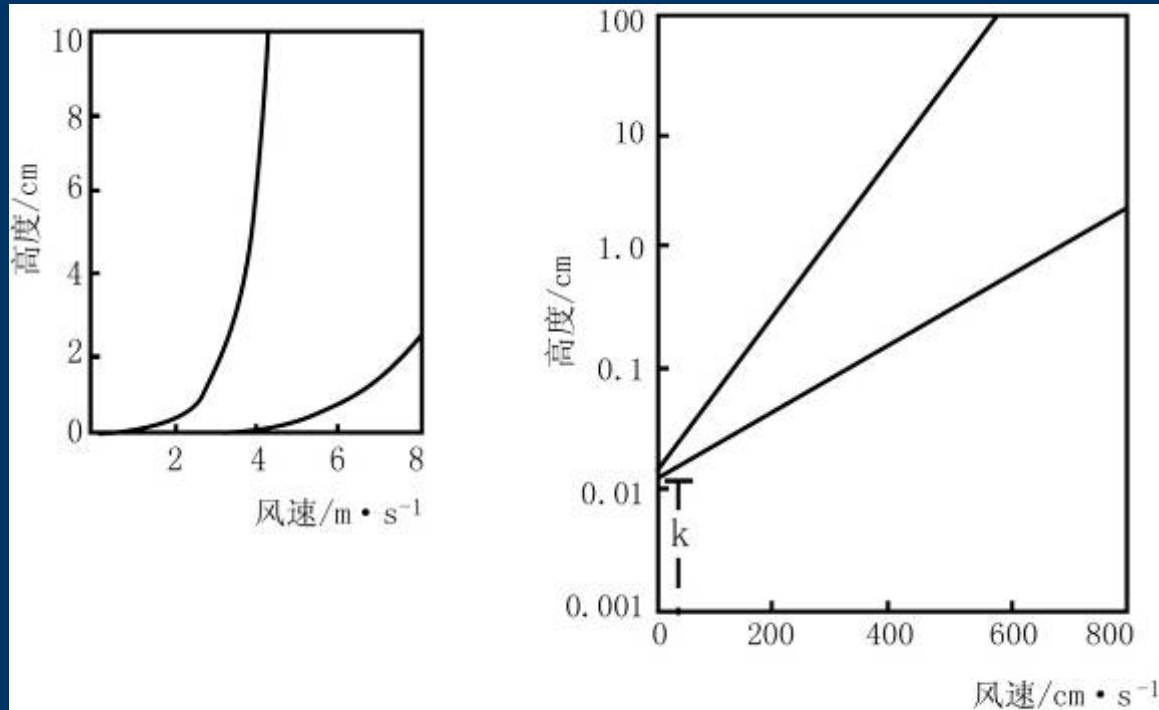


图3-8

二条曲线分别代表不同风速：右图中，直线的截距 k 表示在贴近地面高度 k 的范围内风速为零。 k 值大小与地面粗糙度有关， k 值约为地表沙砾直径 D 的 $1/30$ ，这与水流分布所不同的。

由于受到地面摩擦阻力，愈近地面风速愈小。可见风速的垂向分布特征与河道流水类似。



二、空气搬运能力低于流水的原因

是空气的密度低于流水，空气的粘度高于流水。

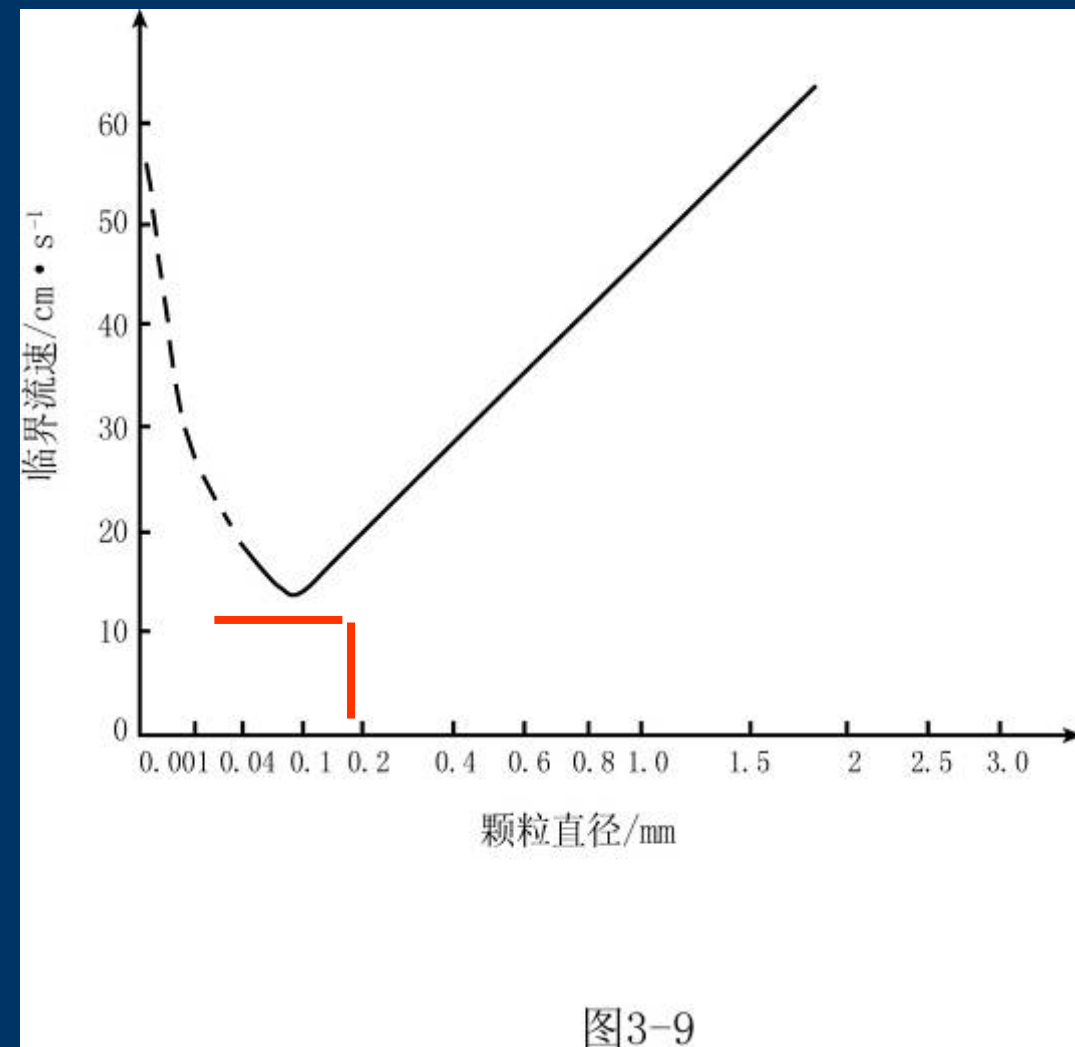
一颗石英相当于同体积水的重量的2.65倍；

一颗石英相当于同体积空气重量的2000倍。

要移动同一石英颗粒，风速要比水速大得多才行。当风速为水速的28.3倍时，才能得到相同的推移力。即在同一速度下风所能移动的颗粒比水移动的颗粒小得多。

三、碎屑颗粒在空气中搬运时的起动条件

粒径**0.1mm**的颗粒，需要**15cm/s**才能启动，启动后，颗粒的增大与临界流速的增大成正比（呈线性关系）。



小结

主要概念：流体、流体的粘滞性、内摩擦定律、牛顿流体、非牛顿流体、急流、缓流、福劳德数、层流、紊流、雷诺数

流体的分类

一、据粘滞性（内摩擦力）划分：

- 1、牛顿流体（如牵引流）。
- 2、非牛顿流体，包括：宾汉流体（如重力流）、假塑性流体、膨胀性流体。

二、据边界条件和流动强度划分

据福劳德数划分为：急流、缓流、临界流

三、据流动状态划分

- 1、据雷诺数划分为：层流、紊流、临界流
- 2、注意：明渠流（500）、管道流（2320）、风（1400）的临界流的不同。