



第一部分:分析原理

# Part One Analysis Principle

第一节沉积作用

# Section one Sedimentary Processes

## §1.1 物理作用（Physical Process）

物理作用主要讨论搬运介质与固体颗粒间的关系。一、搬运介质**(Transporting Media)**

按照搬运方式不同，把搬运介质分为重力流和牵引流两种类型。

1. 牵引流（**Fluid flow**）

搬运介质运动带动固体颗粒运动，水和空气是牵引流搬运的主要介质。

* 1. 运动方式（**Fluid moving fashions**）： 层流（**Laminar flow**）: 流体分子呈直线运动。 紊流（**Turbulent flow**）: 流体分子运动轨迹不规则
  2. 流态（**Flow Regime**）弗劳德常数 **Froude number (F):F** =V╱ ***g***∗***d***

v: 流速（velocity of flow）；g: 重力加速度（gravitational acceleration）；d: 水深（depth of water）

低流态（Lower flow regime），F<1, : 流体阻力较大，搬运能力弱，水面波动和沉积物表面的起伏不同相。 过度流态（ Transitional flow regime）： F=1， 流态不稳定。 高流态（ Upper flow regime）：F>1，流体阻力较小，搬运能力大，水面波动和沉积物表面的起伏同相。

* 1. 底形（**Bedforms)**

底形是固体颗粒在松散沉积物表面运动所形成的，具有规则几何形态。大部分沉积构造是由于底形的迁移而形成的。底形与流态之间有密切的关系，随水流动态的变化，底形发生有规律的变化。 低流态下，随着水流动态变强（F值增加），底形出现的次序为：下平底（lower

plane bed，没有颗粒移动)⇒小波痕（small ripples） ⇒ 小波痕叠加的大波痕

（megaripples superimposed ）⇒大波痕（ megaripples） 随着水流动态变强（F值增加），波痕的脊由直线变为波状和舌形。

过度流态下，底形不稳定，波痕受到冲刷。

高流态下，常见的底形为上平底（ upper plane bed）和逆行沙丘 (antidunes)。

1. 重力流（**Gravity Flow**）

通常称为高密度流, 在重力作用下，沉积物不稳定而移动⇒带动水介质运动⇒ 水介质与沉积物充分混合，进而形成富含沉积物的流体—重力流 (dense flow)。

按照沉积物的支撑机理，重力流可分为四种类型：

浊流（**Turbidity current**）： 流体内的沉积物由湍流的向上分力所支撑，并使

沉积物持续地悬浮于流体中。

液化流（ **Liquefied flow**）：沉积物颗粒间孔隙流体的向上流动而支撑沉积物。

在富含液体（水）的松散沉积物中，当孔隙流体压力超过静水压力时，颗粒保持悬浮状态，就象流沙一样，“液化了”。

## 颗粒流（ Grain flow）：由于沉积物颗粒之间的相互碰撞作用而支撑颗粒呈悬

浮状态，在重力作用下流动。

碎屑流（**Debris flow**）**:** 基质支撑沉积物颗粒，使砂、砾级悬浮于其中而在重

力作用下进行搬运。.

二、沉积物颗粒（ Sediment grains）

当流体流动所产生的上举力与牵引力超过沉积物颗粒的重力和吸附力时，颗粒开始移动。在细粒沉积物中，颗粒主要受吸附力的作用；在粗粒沉积物中，颗粒主要受重力的作用。细粒沉积物中颗粒的启动速度比粗粒沉积物中颗粒的启动速度大；

但细粒颗粒的沉降速度比粗颗粒的沉降速度小。

# §1.2 生物作用

**Biological Processes**

生物作用范围很广，这里只讨论其结果保存在沉积岩中的生物作用。由生物作用所引起的化学作用，如沉淀等在这里不讨论。 大化石（生物骨骼）由于是传统

地层学的重要内容，由于时间关系，仅作简要介绍。

**1.** 潜穴与钻孔（ **Burrowing and Boring** ）

## 潜穴（Borrowing）：生物因生存或寻找食物而在松散沉积物内（未固结的沙

和泥内）所形成的孔洞。

钻孔（**Boring**）：生物因生存或寻找食物而在坚硬岩石内（即固结的沙和泥内）

所形成的孔洞。

1. 生物扰动（**Bioturbation**）

生物活动过程中，对原有的沉积物和沉积构造进行改造，致使沉积纹层发生断裂

和位移。

1. 团粒化（**Pelletization**）

生物将消化后的沉积物呈团粒状产出。团粒大小为 1mm ~1cm。由于团粒容易

遭破坏，因此团粒在碳酸盐岩中较发育（由于其快速胶结作用），而在碎屑岩中不

发育。

1. 沉积物的捕获作用（**Sediments baffles and trappers)**

网状海草吸附沉积物，有些沉积物表面，如蓝绿藻(Blue-green algae)等表面分泌

出粘液，可以吸附沉积物。

**5**、生物化石（**Fossils)**

### 正常海水：珊瑚、腕足、层孔虫、三叶虫及棘皮类等；

淡水：腹足类、介形虫、螺；

咸水：双壳类、蓝绿藻、介形虫等。

§**1.3** 化学作用（**Chemical Processes**） 化学作用主要涉及到一些成岩现象，如溶解、沉淀等，其中大部分与沉积环境

无关，但有些溶解、沉淀现象与特定的环境有关。另外，一些典型矿物也可指示沉

积环境的气候及水介质性质。

**1**、溶解、沉淀现象（**Dissolution and Precipitation)**

### 膏盐矿物溶解及碳酸盐岩矿物溶解形成孔洞；

矿物晶体溶解后被其他物质充填，形成假晶；

上述现象多与干旱气候条件有关。

1. 标型矿物（**Index Minerals)**

赤铁矿（**Hematite**）指示氧化环境。

硫化铁（**Iron sulfides**）指示还原或缺氧环境。

粘土矿物（**Clay mineral**） 可以指示水介质：高岭石（ Kaolinite）多形成于

酸性水介质中； 伊利石（ Illite）则发育在碱性水介质中。

鲕绿泥石（**Chamosite**）：在现代沉积物中，鲕绿泥石多出现在热带浅海中，

水深不超过60米。

1. 典型构造（**Typical Structures)**

鸟眼构造（**Birdeye** structure）：发育于干旱潮坪环境。 示顶底构造（**Geopetal** structure）：上层为亮晶方解石，下层为泥晶或碎屑。

1. 重矿物（**Heavy Minerals)**

稳定类型：石榴子石、电气石和锆石 **5**、沉积地球化学常量元素、微量元素与同位素

第二节 沉积构造

## Section two Sedimentary Structures

### §**2.1** 物理构造（**Physical Structures**）

表面痕迹（surface marks）, 层理（bedding）和底面印痕（ bottom imprints）

**1**、表面痕迹（**Surface marks**）

波痕（ripple marks）, 雨痕（raindrop mark）, 细流痕（rill marks）, 泥裂（cracks）

**(1)** 波痕（**Ripple marks**）

**4** 点： 顶点、谷点、界点和脚点；**4** 面：向流面和背流面（滑动面和底积面）；

波长（L）和波高（H）

对 称 指 数 （ **symmetry index** ） ： 向 流 面 与 背 流 面 水 平 投

影之比。

波痕指数（**ripple index**）：波长与波高之比。

波痕内部构造（**Internal structure of a ripple**）

底积层（ Bottomset ）；前积层（ Foreset ）；

向流面纹层（Stosside).

重流体层（ **Heavy-fluid layer** ）：在水和沉积物的作用带内，富含沉积物的

流体层。

波痕按成因分为：水流波痕、波浪波痕、风成波痕、干涉波痕与孤立波痕；按

规模可分为：小型波痕、大型波痕与巨型波痕。

**(2)** 雨痕（**Raindrop marks**）

#### 圆形或椭圆形， 在少雨区发育较好。指示水上环境或半干旱环境，说明沉积

物曾经出露水上。

1. 泥裂（**Cracks**）

平面上为多边形，剖面上为“ V”字形，由泥岩脱水、收缩或干化而成。 指示

干旱气候或水上环境。

1. 细流痕（**Rill marks**）

由于细小水流侵蚀沉积物表面所形成的树支状痕迹。指示水面下降或水上环境。

1. 其它表面痕迹（**The other surface marks**）

工具痕迹、障碍痕迹、弹跳痕迹等

三种成因类型波痕对比

水流波痕：RI>15，SI>3.8；不规则或弯曲的，无分叉；直线型、切线型和"S"形前积纹层，不对称。波浪波痕：RI<15,SI<3.8；较规则，直脊，分叉；“人字型”、束

状纹层，对称或不对称。风成波痕：RI: 10~70；直、长且平行；粗粒在波脊，细粒

在波谷。

1. 底面印痕（**Bottom Imprints**）

底面印痕发育于沉积物（砂层）底部，为表面痕迹的铸型。

**(1)**槽铸型（**Flute imprints**）**:** 平行水流方向的瘤状突起，上游端高而窄，下

游端低而宽，可以指示水流方向。

**(2)**纵向脊和沟铸型（**Longitudinal furrows and ridge imprints**）：相间排列

的沟和脊，平行水流方向，但不能指示上、下游方向。

**(3)**沟铸型（**Furrow imprint**）：窄而长的脊，平行水流方向。

**(4)**其它铸型（**The other imprints**）**:** 不规则，不能指示古水流方向。

1. 层理（**Bedding**） 层理是肉眼能够识别的最显著的宏观沉积特征。 纹层（**Laminae**）：组成层理的最小宏观单位，具有相对一致的成分和结构。

单层（**Single Bed**）：层理的基本单元，由成分和形态对一致的纹层组成。 层组（**Bedset**）： 形态一致且具有成因联系的一组单层。如果单层的成分相

似或一致，称“简单层组”，构成的层理称为简单层理；如果单层的成分不同，称

“复合层组”，构成的层理称为复合层理。

层理面（ **Bedding Surfaces**）： 单层或层组的分界面。

（**1**）简单层理（ **Simple Bedding**） **a)** 交错层理（**Cross-bedding**）**:**

#### 形态类型：

板状交错层理（**Tabular cross bedding**）：层理面为相互平行的平面，内部

纹层与层理面斜交。

楔状交错层理（**Wedge-shaped cross** ）：层理面为平面，但不平行，内部纹

层与层理面斜交。

上述两类层理可统称为面状交错层理（ **Planar cross bedding**）

槽状交错层理（**Trough cross-bedding**）：层理面为曲面，纹层呈槽状或弧形波状交错层理（**Ripple bedding**）：层理面不规则，内部纹层与界面平行或斜

交。一般，波状交错层理的规模较小，多为小型交错层理。

#### 成因类型：

羽状交错层理（**Herringbone cross bedding**）：相临单层内的纹层倾向相反，

这种层理是潮坪环境的典型标志。

点坝（边滩）交错层理（**Channel bar cross-bedding**）：曲流河道内由点沙坝

迁移所形成的交错层理。

水道充填交错层理（**Channel-fill cross bedding**）：小型水道充填所形成的交错

层理。

海滩冲刷交错层理（**Beach cross bedding**）：由于海滩倾 斜面的迁移和冲刷所

形成的，纹层倾角小，沉积物的分选、磨圆好，富含介壳碎片。

沙丘交错层理（**Sand dune cross bedding**）：由沙丘的迁移和崩塌所成，纹层 o 倾角大，可达 30~40 。

丘状交错层理（**Hummocky cross bedding)**：纹层向上凸，倾角很小，多见于

浅海环境，属风暴成因。

逆行沙丘交错层理（**Antidune cross bedding)**：纹层倾角小，与上下岩层中其它

类型层理的纹层倾向相反，多与平行层理伴生。

水流波痕交错层理（**Current-generated cross bedding**）由于水流波痕迁移而成，

包括各种类型的交错层理，如大型、小型波状、槽状、板状及楔状交错层理。

波浪波痕交错层理（**Wave-generated cross bedding**）：由波浪波痕迁移而成，

主要包括小型波状、槽状交错层理。

#### 注： 在上述成因类型中，以水流波痕和波浪波痕交错层理最为常见，广泛分布于冲积扇、河流、湖滨、海岸带及潮坪等环境，而其它成因类型则与特定的沉积环境

和水流动态有关。

**b)** 爬生波痕纹理（**Climbing ripple lamination**） 爬生波痕纹理是在波痕

迁移过程中，同时向上生长所形成的。其形成条件是：沉积物供给丰富，向流面纹

层能够保留下来，波痕向上生长。

同相位爬生波痕纹理（**Climbing ripple laminations in-phase**）：后一波痕直接

盖在前一波痕之上，前后波痕在水平方向上的位移很小，向流面和背流面纹层的厚

度近于相等。

迁移型爬生波痕纹理（**Climbing ripple laminations in-drift**）：后一波痕盖在前

一波痕之上，但前后波痕在水平方向上有明显的位移，向流面和背流面纹层的厚度

不相等。向流面和背流面纹层都发育，称为Ⅰ型；仅背流面纹层保留下来，向流面纹层没有保存下来，称为Ⅱ型。 **c)** 水平层理（**Horizontal Bedding**）：由相

互平行且近于水平的泥质纹层构成 ，纹层厚 1~2mm。

**d)** 平行层理（**Parallel Bedding**）：由相互平行且近于水平的沙质纹层构成 ，纹层厚 1~2mm。

**d)** 递变层理（**Graded Bedding**）： 由沉积物颗粒递变而形成的沉积单位，

其中无纹理构造。

正递变层理（**Normal grading bedding**）：自下而上沉积物颗粒逐渐变细，

底部为突变面。粒序递变（ **Distribution grading** ）：所有颗粒自下而上变细；粗

尾递变（ **Coarse-tail grading** ）：仅粗粒颗粒向上变细，细粒颗粒均匀分布。

反递变层理（ **Reverse grading bedding** ）：自下而上沉积物颗粒逐渐变粗，

其顶、底部均为突变面。

递变层理多为重力流作用的产物。

块状层理（**Massive bedding**）：成分一致，无纹理构造，无粒度变化。

**(2)** 复合层理（**Complex Beddings**）

脉状层理（**Flaser Bedding**）：主要由沙组成，泥呈“脉状”分布在沙波波谷

中，沙中发育纹理构造。

波状层理（**Wavy Bedding**）：由波状起伏的沙、泥层交互叠置而成，沙层内

发育纹理构造。

透镜状层理（**Lenticular Bedding**）：主要由泥质构成，沙呈透镜状分布在泥

中，沙质中发育纹理构造。

从脉状层理、波状层理到透镜状层理，水动力逐渐变强。上述层理反映形成过

程中水流强度发生交替变化，多见于潮汐环境。

韵律层理 **(Rhythmites):** 由不同成分、结构、颜色的纹层构成，纹层厚度小

于3~4 mm，主要为细粒沉积物。不同的纹层可以指示气候条件、沉积物供给、潮汐

及水流动态的变化。

#### **4** 准同生变形构造

（**Penecontemporaneous Deformation structures**）

沉积过程中，或在沉积后不久且在沉积物固结前，由沉积物塑性变形而形成的

构造，统称为同生变形构造。

负荷构造（**Load Structures**）：当沙层沉积在塑性泥岩之上时，由于超负荷或

差异负荷而发生垂向流动所形成的，保留在砂层底部的痕迹。 火焰状构造（ **Flame structures**）是一种典型的负荷构造。

球状与枕状构造（ **Ball and Pillow Structures**）

旋转层理（**Convolute Bedding**）**:** 沉积纹理发生变形和褶皱，但纹理仍是连续

的，没有被错断。

碟状构造（**Dish Structures**）： 脱水构造。

滑塌构造（**Slump Structures**）： 沉积物纹理发生褶皱变形，并伴有滑塌面，

小型重力断层和角砾化现象。

同沉积变形构造多产于快速堆积、沉积坡度较大的环境，如三角洲前缘、斜坡

带等。

课外读物

物理标志（二）——粒度分布（ Grain size Distribution)

（碎屑岩沉积相和沉积环境，孙永传，李惠生，1986，地质出版社，Page 65~Page 81）

阅读上述材料后，写一篇短文，文中主要论述以下两个方面的问题：

简述可用于沉积环境分析的主要粒度参数； 详细讨论1或2个粒度参数

与沉积环境的关系。该文作为下次课堂发言的主要内容。发言时间略为6分钟。或写

一篇与沉积环境分析有关的短文。

§**2.2** 生物构造

## Biological Structures

遗迹（**Traces**）： 由于动物活动在沉积物表面形成的痕迹， 如停息迹（resting traces）、爬行迹（ crawling traces）、寻食迹（browsing traces）、足迹（ **foot marks**）

（足迹指示水上环境）等。

钻孔（**Borings**）：生物在坚硬岩石内所形成的孔洞。 潜穴（**Burrow**）：生物在坚硬岩石内所形成的孔洞。

生物扰动构造（**Bioturbation Structures**）： 由于生物活动所形成的变形构造。

根痕（**Root marks**）： 指示水上环境。

生物生长构造（**Growth structure**）：如叠层石纹层。

### 生物构造与环境关系 **a:**与水深关系

浅水环境：垂直潜穴和简单潜穴系统

深水环境：水平潜穴和复杂的潜穴系统  **b:**与颗粒大小关系

在高能环境，水动力强度大，沉积物较粗，生物与生物构造不发育。

#### **c:** 与沉积速率关系

在快速堆积环境中，不利于生物的繁衍，也不利于生物扰动构造的发育；在

缓慢堆积环境，有利于生物扰动构造的发育和生物遗迹的保存。

**d**：与水体含氧度关系 富氧水体中，有利于生物繁衍，生物扰动构造发育。

#### §**2. 3** 化学构造（**Chemical Structures**）

鸟眼构造（**Birdeye Structure**）：气泡、沉积物收缩或藻类溶解后所形成的空

洞，有的被其它矿物，如方解石、白云石、石膏等所所充填。一般，鸟眼构造指示

干旱潮坪环境。

晶体印痕（**Crystal Imprint**）： 石膏和石盐晶体印痕为正四面体和正八面体。

晶体印痕指示干旱气候条件。

钙结层（**Caliche**）：由于土壤蒸发和沉淀所形成的钙结核层，指示不整合和沉

积间断。

叠石锥（**Cteepee**）：锥状纹理，由未固结灰泥蒸发脱水所成或压溶成因。

示顶底构造（**Geopetal Structure**）：生物贝壳内或洞穴内的充填物——下部为

泥晶，上部为亮晶或未被充填。

葡萄状构造（**Cluster structures**）：由碳酸盐包壳形成的似球状、葡萄串状或不

规则状构造。

缝合线（**Stylolites**）： 一种压溶构造，多产于碳酸盐岩中，有时出现在砂岩中。

第三节 概念和原理

## Section Three Concepts and Principles

沉积相（**Sedimentary Facies**）：某一地层单位所有原生沉积特征的总和，包

括物理、化学及生物特征等。

波状层理砂岩相：岩性组成与构造；浊积岩相： 沉积成因；流相：沉积环境；磨拉石相：构造成因

研究尺度不同：相组合、亚相、微相

沉积环境（**Sedimentary Environments**）：沉积物堆积的自然地理空间。

欧美：沉积相与沉积环境混用；前苏联：沉积相与沉积环境严格分开。

地震相（**Seismic facies**）：具有相似反射结构、连续性、频率、层速度等的三

维地震反射单元。

测井相（ **Log Facies**）：典型岩电组合特征。

沃塞尔相律（**Walther’s Law of Facies**）：在连续地层剖面中，垂向上几种有成

因联系的相和环境的叠置次序，与它们在平面上所出现的次序是一致的。

相序列(***Vertical Facies Profile***)：几种有成因联系的沉积相和沉积环境在垂向上的叠置关系。正旋回（**Fining-upwards sequence**）：在某一相序列中，沉积物的

粒度自下而上由粗变细，底部为突变接触关系；反旋回（**Coarsening-upwards**

**sequence**）：在某一相序列中，沉积物的粒度自下而上由细变粗，底部为渐变接触

关系。

物源与古流分析（**Provenance and Paleocurrent**）：

沉积物颗粒的分选、磨圆；沉积物结构：纹理（微观）、反射外形（宏观）；沉

积物的组成：重矿物、矿物成分变化；沉积物颗粒的定向：砾石定向、粘土矿物定向、有机质定向

沉积模式（**Depositional Model**）：根据现代沉积环境、古代沉积物和实验室模

拟的综合研究为依据，对某种沉积环境的沉积特征、发展演化与沉积相三维组合关

系所作的高度概括。

沉积体系（**Depositional System**）：具有成因联系的相的三维组合 。

沉积体系域（**Depositional Systems Tract**）： 某一时期内所有沉积体系的总和。

层序地层学（**Sequence Stratigraghy**）

Exxon 石油公司，P.R. Vail 等（1987），根据被动大陆边缘盆地的研究成果提

出。

根据地震、钻井与露头资料，并结合沉积环境与相特征，对地层分布模式进行

综合解释，并提出旋回式的年代地层格架。

层序（**Sequence**）：以不整合面或与之对应的整合面为界的沉积单元。 沉积体系分析流程 **1** ⇒

、沉积体系分析流程：层序地层格架、等时界面 沉

积体系域⇒沉积体系⇒ 相组合、相⇒亚相、微相⇒储集相

### **2**、相关系的建立：两种基本方法：统计法和模式法

模式法（**Model method**）：将现有资料的沉积特征与典型相模式对比，并结

合研究实例的特点，提出综合性的相关系。

统计法（**Statistical method**）：根据现有资料，统计不同岩性的接触次数， 采

用某种统计方法，提出相接触的优先顺序，并进行沉积学解释。

### 相控制因素（**Factors Controlling the Nature and Distribution of Facies**）

1. 沉积物供给（**Sediment Supply**）： 控制沉积相的组成和厚度。

花岗岩、花岗片麻岩物源：沙质沉积物

酸性火成岩：火成岩角砾、细粒沉积物

碳酸盐岩：碳酸盐岩砾石、细粒沉积物

1. 气候（**Climate**）： 控制相类型与水介质性质。

干旱气候：碱性水介质、蒸发岩

潮湿气候：酸性水介质

1. 构造（**Tectonics**）： 控制古地理格局、沉积空间、沉积厚度、沉积物供给、盆

地类型。

1. 海平面变化（**Sea-level Changes**）：控制沉积边界、沉物供给、相变、相迁移等。
2. 生物活动（**Biological Activity**）： 控制有机物的堆积速率、沉积结构等。
3. 火山活动（**Volcanism**）： 控制沉积物供给、水介质性质、古地理等。

第二部分 碎屑岩沉积学与沉积相

## Part Two Clastic Rocks and Facies

|  |  |
| --- | --- |
| 第一章 | 硅质碎屑岩岩石学 |

### **Chapter One Silisiclastic Rocks** 第一节 沉积岩分类

#### **Section One Classification of Sedimentary Rocks**

1、说明

碎屑：离开生成地点并运移到沉积地点的质点，如元素、化合物等。其组因

可以是物理的、化学的和生物的，如石英、长石、岩屑颗粒，生物骨骼、粘土矿物

等。

内源与外援沉积物：组成沉积物的矿物、颗粒是在盆地内形成的，称内源沉

积物；组成沉积物的矿物、颗粒是在盆地外形成的，称外源沉积物。

自生与他生沉积岩：主要由自生矿物和其它自生成分组成的沉积岩，成自生

沉积岩；主要由他生矿物和其它他生成分组成的沉积岩，成自生沉积岩。

粘土矿物与泥质岩：<2µm，大部分粘土矿物是陆源的，称为碎屑粘土；在特

定温压条件下，由碎屑粘土矿物转化而成的粘土矿物，称转化粘土；在沉积—成岩

环境中，从水介质中沉淀出的粘土，称自生粘土；主要由粘土矿物组成的沉积岩称

泥质岩。

混积岩：典型沉积岩类型之间的一序列过度岩类。一般采用“二组分命名法”：

含量>50%的组分为基本名称；含量在25~50%之间的组分，命名为“××质”，作定语；；含量在5~25%之间的组分，命名为“含××”，作定语；含量<5%的组分不参

加命名。如，某沉积岩，泥：36%，沙：60%——泥质砂岩；如，某沉积岩，泥：16%，

沙：80%——含泥砂岩；

第二节 碎屑岩的组成

#### **Section Two Components of Clastic Rocks**

##### 一、碎屑岩的组成

###### 碎屑颗粒、基质、胶结物和孔隙

1. 碎屑颗粒(Clastic Grain)：包括各种矿物颗粒和岩屑，如长石、石英、云母、重矿物颗粒、岩屑等。
2. 基质（Matrix)：与碎屑颗粒同时形成的细粒成分，<2µm，通常为粘土与粉沙。
3. 胶结物(Comment)：碎屑颗粒沉积后，从水介质中

沉淀的矿物，对碎屑颗粒起粘结作用，如方解石、二氧化硅等。

1. 孔隙(Pore)：岩石中未被固体物质占据的部分。

###### 二、碎屑颗粒

1. 石英(Quartz)：包裹体、波状消光、晶体形态、阴极发光、裂缝等。
2. 长石(Feldspar)：双晶、环带结构、条纹结构、溶蚀现象等。
3. 岩屑(Clast)：火成岩：花岗岩、中酸性喷出岩、基性喷出岩；变质岩：石英岩、

片岩、千枚岩；沉积岩：泥岩、页岩、石英砂岩等。

1. 云母（Mica）：白云母（Biotite)、黑云母（Muscovite，易蚀变）。
2. 重矿物（Heavy Minerals)：<1%，用作物源分析，判别母岩类型，指示水流方向。

重矿物组合

酸性火成岩：磷灰石、角闪石、独居石、金红石、榍石、电气石

花岗岩：锡石、萤石、白云母、黄玉、电气石、黑钨矿

中基性火成岩：辉石、角闪石、磁铁矿、钛铁矿

变质岩：红柱石、石榴石、硬绿泥石、蓝闪石、蓝晶石、夕线石、十字石、绿帘石、黝帘石

沉积岩：锆石、电气石、金红石、重晶石

重矿物稳定性

超稳定：金红石、锆石、电气石、锐铁矿；稳定：磷灰石、石榴石、十字石、独居

石、黑云母、钛铁矿、磁铁矿；中等稳定：绿帘石、蓝晶石、石榴石、硅线石、榍

石、黝帘石；不稳定：角闪石、阳起石、辉石、红柱石；极不稳定：橄榄石 第三节 碎屑岩的结构

#### **Section Three Texture of Siliciclastic Rocks**

1. 组构：颗粒的排列方式

颗粒定向、堆积方式、接触类型、支撑类型

1. 结构

#### **1**、粒度

自然粒级，砾级，>2mm；沙级，2~0.05mm；粉沙级，0.05~0.005mm；粘土级，<0.005mm。砾状结构：砾级碎屑含量>30%；沙状结构：沙级碎屑含量>50%；泥质结构：粉沙级

与粘土级碎屑含量>50%

φ值粒级：砾级，φ值<-1；沙级， φ值-1~4；粉沙级， φ值4~8；粘土级，φ值<8

##### **2**、颗粒形态

磨圆度：棱角状、次棱角状、次圆状、圆状、极圆状球度：0~1

形状：偏平状、球状、片状、棒状

1. 颗粒表面结构

颗粒表面的光滑程度、起伏、擦痕等。

1. 胶结类型与胶结结构

##### 胶结类型：

基底式胶结：基质含量多，颗粒呈漂浮状(A)

孔隙式胶结：颗粒为点接触，胶结物充填在孔隙中(B)

接触式胶结：胶结物仅分布于孔隙接触处(C)

镶嵌式胶结：颗粒呈凹凸接触和缝合线状接触，胶结物充填在孔隙中(D)

##### 胶结结构

非晶质—微晶质结构：为均质体或具有微弱光性(A)结晶粒状结构：等轴粒状晶体

(B)；丛生结构—栉壳状结构：胶结物垂直颗粒表面生长，当晶体呈柱状时，呈栉壳状结构；(C)嵌晶结构：胶结物晶体较大，包围碎屑颗粒；(D)加大边：胶结物围绕

碎屑颗粒共轴生长，形成光性一致的胶结物(E)

第四节砾岩

##### **Section Four Conglomerate**

一、概况

定义（Definition)：砾石含量大于30%的碎屑岩。碎屑颗粒一般由岩屑组成。

成因意义：

砾石成分可以直接指示母岩性质。 粒度分布：滨岸砾岩具单峰分布；冲积

扇、河流砾岩具双峰或多峰分布。 风选、磨圆：滨岸带分选、磨圆好；河流中等；冲积扇较差。 形状：花岗岩质砾岩呈等轴状，板岩、片岩质砾石呈扁平状。 基

质类型：既可发育泥质基质，又可发育沙质基质。滨岸带砾岩基质含量底，河流相砾岩富含沙质基质，泥石流、冰川砾岩富含泥质基质。

正砾岩（Orthoconglomerate)：沙质基质<15%，砾石支撑，牵引流的滚动搬运

或浊流搬运，国内一般将这种砾岩简称为砾岩，下面主要讨论这种砾岩。

副砾岩（Paraconglomerate)：基质>15%，多为泥质，基质支撑，砾石漂浮在基质中，因此，这种砾岩也称为砾质泥岩或含砾泥岩（Pebbly mudstone, Conglomeratic

mudstone）。这种砾岩多呈块体搬运，如冰川、泥石流等。

砾岩成因很多，如构造成因的断层角砾岩（Fault breccia）、陨石撞击角砾岩

（Meteorite impact breccia)，成岩作用形成的假角砾岩（Pseudobreccia)等。这里只讨论沉积作用形成的砾岩或二角、砾岩。 砾岩的分类

##### **Classification of Rudaceous Rocks**

1. 按磨圆度

砾岩：圆状、次圆状砾石含量>30%

角砾岩：棱状、次棱状砾石含量>30%

1. 按砾石大小

细砾岩：砾石大小为2~10mm；中砾岩：砾石大小为10 ~100mm；粗砾岩：砾石大

小为100 ~1000mm；巨砾岩：砾石大小为>1000mm

1. 按成分

单成分砾岩：某种成分砾石含量在50%之上

多成分砾岩：没有那种成分砾石含量在50%之上

1. 典型成因砾岩

底砾岩（Basal conglomerate）：分布于侵蚀基准面或不整合面之上，代表沉积

间断，和一个沉积旋回的开始。砾岩可以是冲积扇、河流及海滩成因的。

副砾岩（Paraconglomerate）：这种砾岩多指示块体搬运，如冰川、泥石流等。

在湖盆或海盆中发育的副砾岩多为泥石流或水下碎屑流成因。

塌陷角砾岩（Collapse breccia)：这种砾岩虽与后 期（沉积期后）岩盐的溶蚀

作用有关，但一般指示干旱气候条件。

滑塌角砾岩（Slump breccia）：多与准同生变形构造相伴生，分布于礁体前缘，

台地边缘、斜坡带等地。 第五节砂岩

##### **Section Five Sandstone**

###### 一、概况

1、沙的来源

陆源：石英、长石、岩屑、云母、重矿物等；内源：生物碎屑、内碎屑、鲕粒、

团粒等

2、砂岩的成分

四结构组分：碎屑颗粒—石英为主，其次为长石、岩屑、云母、重矿物等；基

质—粘土矿物；胶结物—钙质和硅质为主，其次为铁质、盐岩等；孔隙—各种类型孔隙

化学组分：石英砂岩、石英质砂岩呈白色、灰白色，以SiO2为主 ；长石砂岩呈肉红色和黄色，以SiO2和 Al2O3为主；岩屑砂岩呈灰黑色、灰绿色，以SiO、铁质分的程度。 2 和其它深色矿物成分为主。

3、砂岩的结构

成分成熟度（Maturity of Composition)：组成砂岩的矿物接近最终稳定组

最终稳定矿物：轻矿物—石英、高岭石 重矿物—锆石、电气石、金红石 常用指标：石英+燧石/长石+岩屑

单晶石英/多晶石英

锆石+电气石+金红石/总重矿物

结构成熟度（ Maturity of Texture）：砂岩在沉积过程中接近无杂基、分选与磨圆极好的程度。

福克（Folk，1951）将砂岩的结构成熟度划分为5极。

不成熟期：砂岩中粘土>5%，碎屑颗粒分选、磨圆不好

次成熟期：砂岩中粘土<5%，碎屑颗粒分选、磨圆不好 成熟期：砂岩中粘土<5%，碎屑颗粒分选好，磨圆不好 超成熟期：砂岩中粘土<5%，碎屑颗粒分选、磨圆好

运用上述指标时，应结合实际情况，注意多解性。

###### 二、砂岩的分类（**Classification of Sandstone)**

1. 分类原则

成分—成因分类：即采用能反映砂岩成因的碎屑组分，对砂岩进行分类、定名。砂岩分类方法较多，有采用三角图、四面体图、三棱柱体图的，也有采用表格的。

目前采用较多的是三角图。

1. 裴蒂庄（1987）砂岩分类

三种碎屑颗粒成分，石英、长石和岩屑； 根据粘土含量把砂岩分为净砂岩和

杂砂岩两类，基质>15%为杂砂岩，基质<15%为净砂岩。

1. 余素玉（1988）砂岩分类

粘土含量：>15%，杂砂岩； <15%，××砂岩； 混积砂岩，长石、岩屑<25%，

石英< 75%； Q为单晶石英；F为长石；R包括各种岩屑，如多晶石英、燧石等。

主要砂岩名称

石英砂岩：Quartz Arenite；长石砂岩：Feldspathic Arenite or Arkose；岩屑砂岩：Lithic Arenite；杂砂岩：Wacke or Greywacke；亚长石砂岩：Subfeldspathic

Arenite；亚岩屑砂岩：Sublithic Arenite；¤长石质石英砂岩：Feldspathic Quartz

Arenite；¤岩屑质石英砂岩：Lithic Quartz Arenite；¤岩屑质长石砂岩：Lithic

Feldspathic Arenite；¤长石质岩屑砂岩：Feldspathic Lithic Arenite 三、典型砂岩特征

1、石英砂岩（Quartz Arenite)

特征：碎屑颗粒中单晶石英颗粒占95%以上，含少量长石和岩屑，重矿物（锆

石、电气石、金红石）和粘土含量极低；胶结物多为石英，其次为蛋白石、玉髓和

钙质；石英容易发生压溶作用，因此，石英砂岩中硅质胶结物发育。

硅质石英砂岩：胶结物为蛋白石、玉髓，石英颗粒不

加大边。

沉积石英岩：石英颗粒的自生加大边极为发育，肉眼很难辨别颗粒和胶结物的界限。

成因： 现今石英砂岩多分布于海滩，因此有人认为

石英砂岩是海水反复冲刷的结果； 与风的沉积作用有关，不可能简单地由河流搬

运形成。

**2**、长石砂岩（Feldspathic Arenite）

特征：石英颗粒含量< 75%，长石颗粒含量>25%，岩屑

含量<25%。长石多为正长石、斜长石和条纹长石；胶结物主要为钙质和铁质；重矿物和粘土的含量比石英砂岩高；由于长石化学上不稳定，砂岩中蚀变和交代现象丰

富。

成因： 富长石的母岩，如花岗岩、花岗片麻岩等；

近源快速堆积； 有利的构造、气候条件。

分布：长石砂岩广泛分布于冲积扇、河流、三角洲环

境。由于长石硬度较大，抗机械压实能力强；压溶作用不明显，抗化学压实能力也

较强；同时，由于化学性质不稳定，易发生溶解、交代等化学反应，有利于次生孔

隙的发育。总之，长石含量较高的长石砂岩，在埋藏成岩过程中，有利于其孔隙的

保存。

**3**、岩屑砂岩（Lithic Arenite）

特征：石英颗粒含量< 75%，岩屑颗粒含量>25%，长石

含量<25%。岩屑主要有： 火山岩的熔岩岩屑； 低级变质岩的板岩、千枚岩及云

母片岩岩屑； 沉积岩的页岩、粉砂岩、燧石、碳酸盐岩岩屑。胶结物主要为钙质和硅质；重矿物和粘土的含量较高，发育假基质；分选、磨圆差，色调较深，呈灰色、灰绿色及灰黑色。

成因：近源快速堆积。

分布：长石砂岩广泛分布于冲积扇、扇三角洲、河流

环境。由于岩屑硬度较大，抗机械压实能力弱，在埋藏过程中，容易发生假杂基化，

砂岩的孔隙不易保存，一般储集性能不好。

四、砂岩的成岩作用与储集性能

##### **Diagenesis and Reservoir Properties**

1. 成岩演化（Diagenetic Evolution） 同沉积期：砂岩处于大气水环境中，水介质中离子浓

度低，pH值低，富含腐质酸和CO。压实作用不明显，砂岩中长石发生溶蚀作用，部酸性水介质向还原性、碱性水介质2 转化。

分胶结物沉淀。如砂岩处于海水中，水介质为中性。

浅埋藏期：砂岩处于同生水（残留孔隙水）环境中。

随着埋深增加，由于压实作用砂岩孔隙减少；同时，孔隙水的盐度增加，由氧化、

深埋藏期：砂岩处于高温、高压的热流体环境（热液）中，石英的化学压实（压

溶）明显。

1. 储集性能的变化

P=Po–G.D

速降低D ；富含石英颗粒的砂岩，易发生压D 溶作用，因此，这些砂岩的深部孔隙不发 P为砂体深度D处的孔隙度，Po地表孔隙度，G孔隙度梯度。孔隙度梯度G是预测

砂岩孔隙度的关键，与砂岩的组成、孔隙流体性质、埋藏史、温度和时间有关。 矿物组成：结构成熟度和成分成熟度低的砂岩易于压实，在埋藏阶段孔隙度迅

育。

地温：在高地温梯度盆地，砂岩孔隙度降低较快。

流体压力：超孔隙流体可以减少碎屑颗粒所承受的有

效应力，有利于砂岩孔隙的保存。 烃类侵入：烃类流体早期侵入砂岩孔隙中，可以抑制孔隙内的胶结作用，有利于孔隙的保存。

时间：深埋时间长，不利于砂岩孔隙的保存。

第六节 粉砂岩和泥质岩

##### **Section Six Siltstone and Argillaceous Rocks**

###### 一、粉砂岩

特征：0.05~0.005mm的碎屑颗粒>50%，石英含量较高，长石、岩屑含量低；重

矿物含量较多，多为稳定重矿物；基质含量较高；胶结物为碳酸盐、铁质等；分选

好，磨圆度差。

成因：水动力能量弱，沉积速率低。分布于低能环境，如泻湖、河漫滩、沼泽、

三角洲前缘及盆地洼陷带等，发育低能环境的沉积构造：水平纹理和波状层理；常

与泥质岩共生，分布于砂岩区和泥岩区的过度带。

储集性能：储集性能不好，孔隙较小，有效孔隙不发

育，渗透率低。

二、泥质岩

###### 1、主要粘土矿物

高岭石（Kaolinite)：无色、淡黄色，正低突起，晶体呈蠕虫状、书状和手风琴状。形成环境为湿热的气候条件和酸性水介质环境。成因：在酸性水介质环境，硅

酸盐矿物，如长石等发生蚀变而成。

埃洛石（Halloysite）：多水高岭石，无色，均质体光性，在电子显微镜下呈

“管状”。

蒙脱石（Smectite, Montmorillonite)：无色、淡绿色，电子显微镜下呈“蜂窝状”状或蜷曲片状。在碱性介质条件下，由硅酸盐矿物、火山玻璃水解而成。

伊利石（Illite）：俗呈水云母，无色、淡绿色，电子显微镜下为丝状或带“丝”

的蜂窝状。形成于相对封闭的碱性水介质环境。

绿泥石（Chlorite）：无色、绿色，电子显微镜下为 “包心菜”状。形成于相

对还原的碱性水介质环境。

2、泥质岩的颜色、结构

###### 颜色：氧化环境—含三价铁，红色、黄色；还原环境—二价铁，灰绿色、绿色；

深水环境—富含有机碳，深灰色、灰黑色、黑色。

结构：快状、纹理、页理

###### 3、成岩演化

随着温度、压力增高，喷涨粘土脱水 非喷涨粘土、无序混层粘土 有序混层

粘土 伊利石、绿泥石。

蒙脱石 伊利石、绿泥石

高岭石 伊利石、绿泥石

第七节 火山碎屑岩

##### **Section Seven Volcaniclastic Rocks**

一、组成

###### 1、颗粒成分

岩屑(Rock Fragments)：火山岩岩屑，钢性—棱角状；半塑性—火山弹（Bomb）、火山砾（Lapilli)，纺锤形，发育气孔，在中基性火成岩中常见；塑性—扁平状、

火焰状、透镜状，在中酸性火成岩中常见。

晶屑(Crystal Fragments）：岩浆岩中的斑晶—长石、石英、黑云母等。

玻屑（Glass Fragments）：内部结构均一，没有斑晶。

###### 2、结构与构造

结构：分选、磨圆较差，近源堆积的产物。集块结构：大

于2mm的碎屑占50%以上，且以大于64mm 的碎屑为主；火山角砾结构：大于2mm的碎

屑占50%以上，且以大于64~2mm 的碎屑为主；凝灰结构：小于2mm的碎屑占50%以上，

且以2~0.01mm 的碎屑为主；火山尘（灰）结构：小于0.01mm的碎屑为主。

构造：以快状构造为主，少数发育交错层理和平行层理，此外还有一些典型构造：

假流动构造（颗粒定向排列）、斑杂构造（颗粒大小不一）、递变层理等。

###### 3、成因

陆上喷发⇒水上沉降堆积，火山口附近为粗的角砾

岩，远离火山口为凝灰岩或火山灰沉积；

陆上喷发⇒水下搬运堆积，火山碎屑有一定的分选、磨圆，发育层理，有时演变为重力流；

水下喷发⇒水下沉降堆积，喷发高度小，近源堆积。

###### 二、类型

1. 火山碎屑岩：火山碎屑颗粒经水流的改造不明显，以快状构造为主。

以塑性颗粒堆积为主，溶结集块岩、溶结角砾岩、溶解凝灰岩，发育假流纹构造；

以钢性—半塑性堆积为主，集块岩、角砾岩、凝灰岩，主要发育快状构造；成层性

较好，层状集块岩、层状角砾岩、层状凝灰岩。

1. 沉积火山碎屑岩：火山碎屑颗粒明显经过水的改造和搬运，发育各种类型层理。

沉集块岩、沉角砾岩（凝灰质角砾岩）、沉凝灰岩

凝灰质砂岩：2~0.1mm；凝灰质粉砂岩：0.0~0.01mm；凝灰质泥岩：<0.01mm；

凝灰质碳酸盐岩：

#### 第二章 沙漠沉积体系

Chapter Two Desert System

##### 一、引言（Introduction）

定义（Definition）： 没有植被或植被很少的陆地。

两种类型沙漠：冷沙漠（Cold desert）：分布于地球两极，降雨量小，植被

稀少，以风的沉积作用为主；热沙漠（ Hot desert）：分布于南北半球的亚热带地

区，阵发性降雨（短时期内的降雨量很大），植被较少，阵发性水流、风的沉积作

用交替进行。重点介绍热沙漠，其中的沙丘可以通过构造活动或断裂与海盆和湖盆

中的油源岩共生，成为二、亚环境及其沉积作用潜在的储层。

###### Subenvirinments and Sedimentation Processes 亚环境（Subenvironments）

石漠（Hamada）: 基岩台地，发育平顶和陡壁， 表面覆盖砾石、卵石等。

干谷（Wadi）：沙漠中的河床。

沙丘（Sand Dune）： 沙质体，沙漠中最重要的地貌特征。

沙席（Sand Sheet）：沙坪，表面较平，具微弱起伏，是沙漠中面积最大的地貌单

元。

砾漠（Serir）: 滞留沉积，砾石、卵石和沙。

沙漠湖和内陆萨布哈（Desert Lake and Inland Sebkha）：沙漠湖：沙漠中半永久

性水体；内陆萨伯哈：沙漠湖四周的盐壳沉积。

沉积作用（Sedimentation Processes）

风（Wind）的沉积作用：沙漠上的主要地质营力，可以搬运、侵蚀（风蚀）沉积物。

其中，尘土呈悬浮搬运， 沙呈跳跃搬运，砾石和卵石为滚动搬运。

蒸发作用（Evaporation）： 仅限于沙漠湖中。

蒸发性水流（Short-term Stream）：仅限于干谷中。

风化作用（Weathering）： 以机械风化作用为主，化学风化作用为辅。

##### 三、沉积物和古代沙漠的识别

###### Sediments and Identification of Desert

1、沉积物(Deposits)

石漠沉积物（Hamada deposits）： 巨砾，很少保存下来。

干谷沉积物（Wadi deposits）： 干谷水道沉积（短期发育）： 正旋回，底部

发育冲刷面，叠瓦状排列的砾石，向上为交错层理与平行层理砾岩、砂砾岩， 顶部

发育粘土或泥岩披盖层；干谷风成沉积物（长期发育）：风成砂，分选好，发育高角度前积纹层， 纹层上部常常发育较粗的砾石。在剖面上，水道沉积物与风成沉积

物呈互层状。

砾漠沉积物（Serir deposits）：薄层粗粒沉积物，砾石和粗沙。沙席沉积物（Sand Sheet deposits）：平行层理砂岩，偶夹砾石层。

沙丘沉积物（Sand Dune deposits）：为分选、磨圆较好的砂岩，通常发育平行层理和交错层理，其中交错层理的前积纹层倾角大，规模也大。

沙漠湖沉积物（Desert Lake deposits）：与干谷相连，以悬浮搬运的粉沙和粘土

沉积物为主，偶夹风成砂层和膏盐。

内陆萨布哈沉积物（Inland Sebkha deposits）： 盐壳沉积，如石膏质粘土、石膏

与石盐互层沉积。

尘土或黄土沉积物（Dust and Loess deposits）： 粉沙级或粘土级碎屑沉积物，

搬运距离很长，常常搬运到湖泊或海洋。

2、古代沙漠沉积物识别

（Identification of Ancient Desert）

沉积物上：分选、磨圆较好，碎屑颗粒以石英为主；不含化石和云母，粘土

含量很低；风成砂与辫状水道砾岩频繁互层，在砂层或砂砾岩层底部发育风蚀或冲

蚀面。

沉积构造上： 高角度前积纹层；石英颗粒表面一般发育霜面（即沙漠漆，石

英颗粒表面由硅质、氧化铁等形成的硬皮）；交错层理中，纹层的上部颗粒较粗，

下部颗粒较细，而且纹层的倾向多变。

第三章 河流体系

### **Chapter Three Fluvial System**

#### 二、河道特征

河道是碎屑沉积物的主要输送渠道，每一河道都对应相应的碎屑沉积体；同时河道内部也发育典型沉积物。

辫状河道（Braided Stream）：分布于上游河段，河道不稳定，平面形态呈辫状，

水流变化大，沉积物呈底负载搬运，所以又称为“底负载型河道”。

曲流河道（Meandering Stream）： 分布于中下游河段，河道稳定，较弯曲，水流

稳定，沉积物呈底负载和悬浮负载搬运，又呈“混合负载型河道”。

网状河道（Anastomosing Stream）： 分布于下游河道，河道窄，呈网状，沉积物

呈悬浮负载搬运，又呈“悬浮负载型河道”。

#### 第二节 辫状河（**Braided Stream**）

##### 一、沉积作用（Process）

由于辫状河道侧向迁移频繁，河道内水流也不稳定，因此，很难研究辫状河道的水流样式。这里，为了便于研究辫状河道的沉积作用，简单地把辫状河道的水动

力环境划分为短期的洪泛期（flooding period）和长时间的低流量期（period of low discharge）。

低流量期，水流仅限于河道内，围绕河道沙坝流动，水流速度较小，搬运能

力低，较粗的沉积物都堆积下来，并发育为河道沙坝。

洪泛期， 河道内所有沙坝均被淹没，由于水流快，水体较浅，所有的沉积物

颗粒都发生移动，沙坝向下游方向移动，沙坝上游端遭受侵蚀，下游端接受沉积。

##### 二、河道沙坝（ **Channel Bars**）

###### 1、沉积物特征

沉积物较粗，分选、磨圆较差，以砾石和粗沙为主；砾石发育块状、槽状和面状交错层理，砾石呈叠瓦状排列，向上游方向倾斜；沙质发育槽状、面状、波状

交错层理和平行层理，局部发育冲刷—充填构造。

2、河道沙坝（Channel Bars）

纵向沙坝（Longitudinal bars）： 平行水流方向展布，呈长条形，主要分布于砾

石质辫状河道中，沙坝主要由平行层理、底角度板状交错层理砂砾岩构成。

横向沙坝（Transverse bar）： 垂直水流方向，呈舌状，通常发育在沙质辫状河

道中，沙坝内发育高角度板状交错层理砂砾岩。

斜向沙坝（Diagonal bar）： 与水流方向斜交，断面呈三角形，沙坝内发育平行

层理、底角度板状交错层理砂砾岩。

点沙坝（Point Bar）：分布于河道边缘，主要见于蛇曲河道中。

三、相构成（Facies Architecture） 平面上，直或微弯曲的、连续分布的沙带。

剖面上，发育不明显的正旋回，主要由砾石和粗沙构成，泥和粉沙很少，总体上呈“沙包泥”。

#### 第三节 曲流河 **Meandering Stream**

##### （ ）

一、地貌单元（Morphology）

曲流河体系内地貌单元较为复杂，每一地貌单元都对应特定的沉积作用和沉积

物。根据曲流河的过程—响应模式，这些沉积物具有较强的可预见性。

河道（Single channel）： 较弯曲，剖面上不对称：凹岸(Concave Bank)较陡，

凸岸（Convex Bank）较缓。

点沙坝（Point bar）： 又呈曲流沙坝或沿岸沙坝，沿曲流河道的凸岸分布。 天然堤（Natural levee）： 分布于河道两侧，是曲流河内最高的地貌单元。

决口扇（Crevasse splay）： 沿天然堤分布扇形体。

洪泛盆地（Flood plain）： 河道间宽广的低地。

###### 二、沉积作用（Process）

与辫状河道相反，曲流河道较稳定，河道内水流也较稳定，关于曲流河道内水

流样式的研究成果较成熟。螺旋状环流（Helical flow）是曲流河道内典型的水流

样式。

在蛇曲河道，由于受惯性影响，主流线向凹岸偏移，水流产生一个与凹岸垂直的流体分量，使凹岸水面升高，并侵蚀凹岸；同时，形成指向凸岸的底流。上述表流

和底流构成一环流，并与纵向水流叠加，共同形成向下游方向移动的螺旋状环流。由于受摩擦力的影响，底流向凸岸流动过程中，流速降低，搬运能力下降，把沉积

物搬运到下一个凸岸堆积下来。

1. 沉积物（Sediments）

河道沉积（Channel deposits）： 河道滞留沉积（Channel lag deposits），沉

积物较粗，以砾石为主，含植干、动物碎片、泥质砾石等，发育块状和不明显交错层理；点沙坝沉积（Point bar deposits），表现为典型的正旋回序列， 自下而上依次为：大型槽状交错层理、板状交错层理中细砂岩、局部夹平行层理细砂岩，

小型槽状交错层理细砂岩，波状交错层理粉砂岩及水平纹理、块状层理泥岩。越岸沉积（Overbank deposits）： 天然堤沉积（Natural levee deposits）， 粉砂岩与粉沙质泥岩，发育爬生波痕纹理与波状交错层理及生物扰动构造；决口扇

（Crevasse splay deposits），沉积物向上、向外变细，内部发育正旋回的决口

水道沉积；洪泛平原沉积（Flood plain deposits），薄层粉沙和粘土，发育水平

纹理和生物扰动构造。

1. 相构成（Facies Architecture） 平面上：弯曲带状砂体和宽广的的洪泛盆地

剖面上：a 典型正旋回序列河道砂体；b 河道砂体呈叠瓦状叠置；c 河道砂

体呈透镜状包围在洪泛盆地细粒沉积物中。

1. 网状河道（Anastomosing stream）

网状河道的亚环境及其沉积特征与曲流相似，所不同的是河道窄而深，更加稳

定，天然堤更发育，且在洪泛盆地中发育一些小型湖泊与沼泽，以细粒沉积物为主，

河道砂体规模较小，泥炭沉积较发育。

第四章 冲积扇体系

### **Chapter Four Alluvial Fan** 一、概况

定义：山谷出口处由分选差的粗碎屑构成的扇状沉积体。

两种类型冲积扇：

#### 二、冲积扇的形态与形成条件

Morphology and Conditions

1. 形态（Morphology）

平面上（In plane）： 扇状或舌状，半径为：几十米到100km。

剖面上（In profile）：在辐向剖面上表面下凹，

远离物源方向坡度逐渐变缓；在轴向剖面上，透镜状。

1. 发育条件（Conditions）

发育在构造活动区，可以与河流、沙漠、冰川及滨岸带等环境共生。冲积扇的

发育与地理形态、物源及气候条件密切相关。

三、沉积作用（**Sedimentation Processes** ）

1. 泥石流（Mud flow）： 塑性流体—砾石等粗碎屑颗粒漂浮在基质（泥）中。泥石流主要发育在扇根和干旱型冲积扇中。
2. 阵发性水流（Flash Stream）

水道（Channel flow）： 辫状水道，向下切割较深，主要发育在冲积扇的中

上部。

片流（Sheet flood）：非限制性流体，在水道的末端活动。

筛析作用（Sieve deposition）： 当洪水流经高渗透砾石区时，水流速度迅

速降低，沙质颗粒堆积在砾石的缝隙中。

四、相的构成（Facies Architecture）

1. 平面上（In plane view）

远离物源方向，冲积扇可以划分为扇根、扇中与扇端。

扇根(Fanhead or Upper fan)： 泥石流沉积物，基质支撑的混杂堆积，快状构造（副砾岩）； 主水道沉积物，砂砾岩，砾石呈叠瓦状排列，发育不明显的交

错层理、平行层理和递变层理； 筛析沉积物，砂砾岩，其粒度具双峰分布。

扇中（Midfan）： 辫状水道沉积物， 砂砾岩，发育叠瓦状构造和不明显的

递变层理、交错层理； 局部片流沉积物，平行层理含砾砂岩、粉砂岩，呈透镜状。

扇端（Lower fan）：水道不发育，以片流活动

为主，发育平行层理砂岩、粉砂岩，与泛滥平原或湖泊沉积物呈指状交互。

1. 剖面上（In profile）

冲积扇在发育过程中，由于沉积速率、盆地沉降速率

的变化，使冲积扇体发生进积、退积或侧向移动。

进积扇（Prograding fan）： 呈反旋回序列，即扇根叠置在扇中之上，扇中

叠置在扇端之上。

退积扇（Retrograding Fan）：呈正旋回序列，即扇端叠置在扇中之上，扇中

叠置在扇根之上。

加积扇（Aggrading Fan）：旋回性不明，反映物

源供给和盆地沉降之间处于平衡状态。

第五章 扇三角洲体系

#### Chapter Five Fandelta System

##### 一、概况

1. 定义（Definition）：由于冲积扇直接提供物源，在盆地边缘的水上和

水下部分所形成的碎屑沉积体。 近源短程河流供给； 直接与冲积扇过渡； 水

上部分为冲积扇，水下部分为扇三角洲。

1. 三角洲序列（A Series of Delta)

以三角洲为基本名称命名的沉积体系很多，如三角洲、辫状平原三角洲、辫状河三角洲及扇三角洲等。上述沉积体系命名的主要依据是沉积物供给体系类型及供给方式。

不同物源体系对应不同的地貌形态、沉积方式、沉积物类型。

##### 二、沉积作用与沉积相

Sedimentation Processes and Facies

1. 沉积作用（Sedimentation processes）

洪水水流（Flood water deposition）： 水道沉积，快状层理、不明显交错层理、

平行层理、递变层理砂砾岩，与冲积扇上的辫状水道沉积类似；河口坝沉积，交错

层理、平行层理与变形构造砂岩；片流沉积，平行层理砂岩、粉砂岩。

重力流（Gravity flow deposition）： 水上泥石流与水下碎屑流沉积，混杂堆积

的副砾岩，水上部分与杂色泥岩互层，水下部分与灰色泥岩互层；洪水浊流与滑塌

浊流沉积，快状—递变层理的砂砾岩、砂岩。一般近源部分发育泥石流和碎屑流沉

积，远源部分发育洪水浊流沉积，扇三角洲前缘发育滑塌浊流沉积。

波浪与潮汐（Wave and tide deposition）： 波浪与潮汐作用在湖盆中不明显，

在海盆中作用明显，形成沿岸沙坝和潮汐沙脊。

1. 相分布（Facies distribution）

扇三角洲平原（Fandelta plain）：扇三角洲水上部分，与冲积扇沉积相似，发育

泥石流沉积、辫状水道沉积、筛析物。此外，由于地形变缓，沉积物变细，辫状水

道两侧发育天然堤，主要为波状层理、爬生波痕纹理粉砂岩。

扇三角洲前缘（Fandelta front）：扇三角洲的水下部分，是扇三角洲沉积最活跃

的部分，由水下水道、河口坝、重力流沉积与暗色泥岩互层构成。水下水道沉积与

水上水道沉积相似，但水下水道与暗色泥岩互层，而水上水道则与杂色泥岩互层；河口坝沉积构成一反旋回沉积，自下而上为波状交错层理粉砂岩、板状交错层理和

平行层理砂岩、含砾砂岩，扇三角洲中河口坝没有三角洲中的发育。

重力流沉积为快状—递变层理砂砾岩，与暗色泥岩互层，其中水下碎屑流沉积中发

育含泥砾的副砾岩。

前扇三角洲（Pro-fandelta）：扇三角洲的外围部分，水流作用消失，以盆内水体

作用为主，主要发育波状层理 的粉砂岩和沙质泥岩，夹平行层理、快状层理砂岩。

##### 三、扇三角洲序列与沉积特征

Sequence and Characteristics of Fandelta

1、沉积序列（Sequence）

控制扇三角洲层序发育的因素很多，其直接因素包括；沉积速率（沉积因素），

沉降速率（构造因素）与海（湖）平面变化（气候因素）。沉降速率与海（湖）平面变化控制沉积盆地的容纳空间，而沉积速率则影响盆地的充满程度、沉积物组成

与厚度等。

如果盆地沉降与水面变化所提供的容纳空间超过沉积作用所占据的空间，则扇三

角洲向盆地内部进积，形成反旋回序列；

如果盆地沉降与水面变化所提供的容纳空间小于沉积作用所占据的空间，则扇

三角洲向物源方向退却，形成正旋回序列。

如果盆地沉降与水面变化所提供的容纳空间等于沉积作用所占据的空间，则扇

三角洲形成加积型沉积序列。

###### 2、扇三角洲的识别标志

1. 扇三角洲通常发育在盆地陡坡带或同沉积边界断裂

的下降盘；

1. 扇三角洲一般沿沉积盆地的短轴方向生长（即垂直

盆地的长轴方向；

1. 重力流沉积较为普遍，近物源发育碎屑流沉积，洪

水浊流和滑塌重力流沉积靠近盆地内部；

1. 扇三角洲沉积物通常较粗，分选、磨圆较差；

F 扇三角洲沉积物可以直接与深水泥岩和烃源岩相接。

第六章 三角洲体系

### Chapter Six Delta System

#### 第一节 概况一、定义

在远程河流与盆内水体交汇地带的水上和水下部分所发育的扇状或朵状碎屑

物沉积体。

三要素： 由碎屑沉积物组成； 占据水上和水下两部分； 沉积物主要来自

于远程河流。

##### 二、沉积作用

控制三角洲沉积的因素很多，如构造、气候、沉积物供给与水体变化等， 但直接因素主要包括河流作用 与盆内水体作用。

1. 河流作用（Riverine Processes）
   1. 惯性力作用为主(Intertia-domonated)，河水与盆

内水体的密度差可以忽忽略不计，河水流速较高，河水主要受惯性的影响，河水与盆内水体在三维空间混合。

上述情况主要发生在： 高梯度河水入湖； 强烈的潮汐作用影响使河水与海水

充分混合。

* 1. 浮力作用为主(Buoyancy-dominated)，河水密度小于盆内水体密度，河

水漂浮在海水之上。由于河水密度比海水密度低，大多数河流入海后，主要是受浮

力影响。这种情况下，河水可以漂浮很远，因此，海洋三角洲规模通常较大。

* 1. 以摩擦力作用为主(Friction-dominated)，河水密度大于盆内水体密度，

河水主要受摩擦力的影响。这种情况主要发生在： 洪水入湖； 冰水入湖。在上

述情况下，由于河水密度大于盆内水体密度，河水沿湖底流动。

1. 盆内水体作用(Basinal Processes)
   1. 潮汐作用（Tidal process）： 加速河水与海水混合，减少海水与河水

的密度差，使河口区加宽，成为浅水朝坪。 潮汐作用主要形成一些平行于潮流方向

的线状沙脊。

* 1. 波浪与沿岸流作用（Wavy and coastal current process）： 对三角洲砂体起改造作用，形成平行于岸线的沙坝。因此，三角洲砂体在高能海岸不发育，通常发育在低能海岸。

总之，三角洲是河口区河水与盆内水体相互作用结果，河流作用较强，有利于

三角洲的发育，对三角洲的形成起建设性作用；盆内水体对三角洲的沉积物进行改

造，对三角洲的形成起破坏作用。河口区河水与海水相互作用结果导致河水的流速

降低，河水扩散，河水所携带的沉积物在河口区堆积。

#### 第二节 三角洲类型及其亚环境

Classification and Subenvironments of Delta

1. 分类（ Classification）

根据河流、波浪与潮汐之间的相互作用，把三角洲划分为三种类型：

河控三角洲（River-dominated delta）： 以河流作用为主，长形，分支流河

道、河口坝与沼泽较发育，如密西西比（Mississippi delta of U S A ）三角洲。

浪控三角洲（Wave-dominated delta）： 尖形与弓形

沙脊取代了河控三角洲的分之流河道，沙滩、沙丘和泻湖较发育，如圣弗郎西斯三

角洲（San Francisco delta of Brazil）。

潮控三角洲（Tide-dominated delta）：以发育与岸线垂直的线状沙脊为特征，

受潮汐作用影响的分支流河道和泽较发育，如 Makaham delta of Indonesia.

1. 亚环境（Subenvironments）

三角洲平原（Delta plain）： 三角洲的水上部分，由湿地和被浅水隔开的分

支流河道组成。分支流河道（Distributary channel）： 类似于网状河道，但受到盆内水体的影响（含贝壳），河道经常被废弃或堤发生跨塌； 分支流河道间

（Interdistributary area）：潮控三角洲与河控三角洲发育天然堤、沼泽、决口

扇、分支流间湾、朝坪与湖泊，浪控三角洲则发育沙丘。

三角洲前缘（Delta front）：河水与盆内水体相互

作用并发生沉积物堆积的水下部分，包括水下河道（ Subaqueous channel）, 河口坝（mouth bar）, 席状砂（ sheet sand）, 冲流沙坝（swash bar）, 沙脊（sand

ridge）和水下天然堤（ and subaqueous levee）。典型沉积体为河口坝，垂向上

表现为一反旋回序列，自下而上依次是水平纹理泥岩与粉砂岩、交错层理与波状交

错层理砂岩、平行层理砂岩，顶部被粉沙和泥覆盖，其中同生变形构造和重力断层较发育。

洲前缘砂体起保护作用积层 三角洲平原 线状沙脊主要发育在潮控三角洲中（bo 河前三角洲控tomset）。三角洲、三角洲前缘和前三角洲也可称为顶积层（Prodelta层序较为 ，免受波浪的改造第三节）：典 型和滨外区完，由泥和粉沙组成整，冲流沙坝主要见于浪控三角洲中河控三角洲层序。，明显 （ topset ）、，富含动物化石前积层。前三角洲泥对三角。 （foreset）和底

Sequence of River-Dominated Delta

表现为一个反旋回序列，即向上变粗的沉积序列。

下部（Lower part）： 即底积层（前三角洲），由深灰色水平纹理、快状层理

泥岩与粉砂岩组成，发育丰富的生物潜穴和生物扰动构造。

中部（Middle part）：即前积层（三角洲前缘），主要由河口坝和远沙坝组成，此外还发育水下分支流河道与席状砂。自下而上由水平纹理、波状交错层理粉砂岩

与泥岩（远沙坝沉积物）、板状交错层理砂岩、平行层理砂岩、“S”形纹层砂岩

（河口坝沉积物）组成

上部（Upper part）： 即顶积层（三角洲平原），由分支流河道、沼泽、分支

流间湾沉积组成。总体上表现为多个正旋回复合序列。

##### 第四节 三角洲勘探前景（Prospects of Delta） 古代三角洲体系中发育丰富的煤、石油与天然气等矿产资源；

三角形体系内的储层、盖层与生油层配合良好：前三角洲泥与深水泥岩为烃源岩（底积层），三角洲前缘砂体为储层（前积层），三角洲平原的沼泽与洪泛盆

地细粒沉积物为盖层（顶积层）；

世界上已发现的大型油气田与三角洲有密切关系，如世界上第二大油田—科

威特的布尔干油田（海盆三角洲）和中国第一大油田—大庆油田（湖泊三角洲）都

与三角洲体系有关。

第七章 湖泊体系

### Chapter Seven Lake System

#### 第一节 概况

一、湖泊沉积条件（Sedimentary Conditions） a 湖泊水体为淡水或为咸水，湖水密度比海水密度明显要小；

b 湖泊中无潮汐作用，波浪作用与湖平面变化对沉积作用的影响较小； c 湖泊中波浪与沿岸流的规模与能量较小，浪基面

较浅；

1. 进入湖泊的河流多为季节性的或阵发性的河流，河流流程较短。
2. 湖泊四周均有物源，湖盆内岩相变化快；海盆则发

育单向物源，盆地内岩相稳定；

1. 由于湖盆较小，气候对湖泊的沉积物类型、沉积作

用及湖平面变化的影响较明显。

二、湖泊类型（Types of Lake）

湖泊可以从成因、形态、湖水含盐度、沉积物供给、沉积充填样式的角度进

行划分。

1. 按成因

构造湖、火山湖、河成湖、冰川湖、风成湖等。

1. 按湖水含盐度

淡水湖、微咸水湖、咸水湖等

1. 按沉积物供给情况及气候条件

干旱气候：内陆萨布哈（无物源供给）；冲积扇—干盐湖（有物源供给）。

潮湿—半干旱气候：碎屑体—永久湖泊（有物源）；沼泽—永久湖泊（无物源）；

碳酸盐岩与生物浅滩—浅湖（无物源）。

1. 按湖泊大小

小型湖泊：火山湖、河成湖、冰川湖、风成湖等

大型湖泊：构造湖泊

大型湖泊中发育良好的烃源岩，具有较好的油气勘探

前景；一般，小型湖泊中烃源岩不发育，油气勘探前景不好。

1. 按湖盆的构造性质与沉积充填样式 断陷湖泊(Fault Lake)，断坳过度湖泊

(Transitional Lake)，坳陷湖泊(Down-warped Lake)

上述划分方案仅限于构造湖泊。

第二节 沉积作用

#### Section Two Sedimentation

1、物理作用

湖泊与海洋水动力的主要区别是湖泊没有潮汐作用。湖泊水体的作用类型包括：

湖浪（Surface Waves)、湖流（Currents in Lake)与湖震（Seiches)。

湖浪：风成浪，在浪基面之上的滨浅湖区较活跃，对湖岸、湖底及其它碎屑沉积

体进行冲刷，并搬运沉积物，形成浪蚀湖岸、滨浅湖沙滩和沙坝。

湖流：大规模、有规律流动的水体，有风成、河成、密度差等成因，以风成为主。

风成湖流，以沿岸流为主，湖流强度与风速有关。

河成湖流，携带沉积物的河水进入湖泊后， 导致湖面的倾斜； 河水与湖

水的密度差、温度差产生层流、底流、重力流等。

湖水分层：主要是由于温度差导致密度差而引发的环流。

湖震：由于强风产生的压差或强气压差引起湖水的周期性震荡运动。湖震产生

的水位差可达1m以上，是深部湖水的主要运动形式。

1. 化学作用

化学作用包括淡水湖泊和咸水湖泊两部分。

淡水湖主要发生低Mg碳酸盐矿物的沉淀（Carbonate Precipitation)，如方解石

及湖边的鲕粒。

咸水湖泊主要是盐类矿物的沉淀(Saline Mineral Precipitation)和高Mg碳酸盐

矿物的沉淀，如白云石和湖边的鲕粒。

1. 生物作用

生物骨架与碎片，如小型生物礁和生物碎屑浅滩等。

浅滩：湖浪、湖流作用明显，发育生物浅滩和生物礁。

湖湾：位于弯岸带或三角洲之间，发育细粒沉积物。

第三节 沉积物分布

#### **Section Three Sediment Distribution**

一、湖泊的分带性（Geomorphic Distribution）

1. 滨浅湖带

位于洪水岸线与枯水岸线之间的地带，其宽度起决于洪水水位与枯水水位的水位差和滨浅湖带的坡度

砾石质湖岸：基岩湖岸，坡度陡；

沙质湖岸：迎风湖岸，湖浪、湖流作用明显，改造滨浅湖带沉积物和河流搬运来

的沉积物，分选、磨圆好，可含植物碎片和动物化石碎片。

泥质湖岸：背风湖岸，坡度平缓或低洼湿地，发育富含有机质的泥岩和泥炭沉积。

1. 浅湖带

位于枯水水位与浪基面之间的地带，生物繁盛。

三角洲、扇三角洲：位于河流入湖方向。

1. 半深湖—深湖带

位于浪基面之下，主要受湖流的影响，以泥质沉积物为主，富含浮游化石和有机

质，夹透镜状砂体。

附：理想湖泊分布样式：环带状分布模式（理想机械分异）

湖岸—湖泊中心：砂砾岩带—砂岩带—沙质泥岩带—泥岩带。

##### 二、淡水湖盆沉积物分布模式

（Sediment Distribution in freshwater basin）

主要针对具有含油气远景的构造湖盆，分断陷湖盆和坳陷湖盆两种模式。

1. 断陷湖盆

分3带：陡坡带，扇三角洲砂体、重力流砂体与深水泥岩；中央带，深水沉积，黑色、

深灰色泥岩、油页岩与浊积砂岩；缓坡带，浅水泥岩、浅滩沙坝与三角洲砂体。

1. 坳陷湖盆

滨浅湖带：主要物源方向—长轴方向发育三角洲砂体，短轴方向发育扇三角洲砂体；

非物源方向—湖湾、浅滩与广泛的滨浅湖细粒沉积物。较深湖—深湖区：深水泥质岩与深水浊积岩。

三、咸水湖盆沉积物分布

（Sediment Distribution in Saline Water Lake)

1、永久盐湖

冲积扇—沙丘—泥坪（泥裂）—盐坪

###### 2、永久盐湖

非物源方向：泥坪含盐泥坪—盐坪—深水泥岩与盐层

物源方向：冲积扇—泥坪含盐泥坪—深水泥岩与盐层

###### 永久盐湖（断陷型）的沉积物分布

陡坡带：冲积扇、扇三角洲与泥；中央带：深湖泥与盐层；缓坡带：生物丘、碳

酸盐岩与泥坪。

###### 第四节 古代湖泊的识别

Section Four Criteria for Recognition of Ancient Lake Sediments

1. 缺少典型海相化石：如珊瑚（corals）、 腕足（ brachiopods ）、海百

合（ articulate）、棘皮动物门（ echinoderms）、头足类（ cephalopods）等，

湖相化石丰富： 腹足类（ gastropods）、双壳类（ bivalves）、介形虫（ ostracods）

和植物化石轮藻（ charophytes）。

1. 相变复杂，缺乏潮汐作用，波浪作用微弱沉积物出露水面频繁。 C 一个完整的湖泊演化旋回是：早期冲积扇，中期湖泊沉积与三角洲、扇三

角洲与重力流砂体，晚期洪泛平原。 岩

第八章 河口湾

#### Chapter Eight Estuarine Environment

##### 一、概况

1. 关于河口湾（Estuary）

半封闭的水体，通常被大气降水冲淡，可以与海水自由连通。

1. 关于过渡环境（Transitional Environment ）

通常认为过度环境位于海洋与大陆的过度带，并把河口湾与三角洲作为过度

环境的典型地貌。

但随着湖盆中大规模三角洲的不断发现（特别是古代湖盆），上述概念的内

涵一发生了变化：大型三角洲可以发育在陆相环境。

##### 二、河口湾的分类

水淹河谷型（Drowned river valley）: formed by transgression;

障壁坝型（Bar-built estuary）;

构造成因（Tectonics-generated estuary）;

海峡型（Fjord-type estuary or strait-type）： 可能为冰川成因，横

剖面呈“U”字形，宽可达几百米。

三、水文特征（Hydrograghy）

##### 根据淡水与潮汐之间的相互作用，河口湾的水文状况可分为三种类型：

河流作用为主(River-dominated)：进入海洋的淡水（河水）较丰富，潮差较小。

混合流（Equal flow of river discharge and tide）：入海的淡水与海水（咸

水）的作用强度相当，交互进行。

潮汐作用为主（Tide-dominated）：入海的淡水较少，

潮差大，潮汐作用明显，淡水与海水完全混合。

四、沉积物（Sediment）

平面上（In plane view）：线状沙脊（linear sand ridges），潮坪（tidal flat）

和障壁海滩（barrier-beach）。

剖面上（In profile）：向上变细旋回（Finning-upward sequence)：为潮汐

河道，上部为脉状层理、波状层理、透镜状层理与小型交错层理砂泥岩互层；中部

为交错层理砂岩；下部为大型交错层理砂岩。向上变粗旋回（Coarsening-upward

sequence）：海进型， 上部为河口浅滩复合体，由交错层理粗砂岩组成； 中部为

潮下带砂泥互层沉积；下部为潮上带沼泽沉积

### 第三部分 海相碎屑体系

Part Three Marine Clastic

#### Depositional System

第一章 碎屑海岸体系

### Chapter One Siliciclastic Shoreline

第一节 海岸类型（Shoreline types）

浪控海岸（Wave-dominated shoreline）： 潮汐作用影响小，潮差<2m，发育沙滩（ beach），障壁岛（ barrer island）和海沼沙岭（“千尼尔”， chenier）。波浪—潮汐混合海岸（Mixed wave-tide influenced shoreline）：潮差2~4m，障

壁岛（barrer island）、潮道（tidal inlets），退潮和涨潮三角洲（ebb- and

flood-tidal delta）。 潮控海岸（Tide-dominated shoreline）： 潮差>4m，发育潮坪（tidal flats）

和河口湾（ estuaries）。

第二节 浪控海岸

Section Two Wave-Dominated Shoreline

#### 一、概况

浪控海岸可分为两种类型： 障壁型浪控海岸和无障壁型浪控海岸

亚环境（Subenvironments）

海岸沙丘（Coastal dunes）：被风改造的水上沙滩，发育风成交错层理 。沙滩（Beach）： 后滨（Bach shore），海滩上部，位于平均高潮面之上，海滩脊（beach ridge）为前滨与后滨的分界线；前滨（Fore shore），位于平均高潮面与

平均低潮面之间，发育海滩冲洗交错层理；海滩脊（Beach ridge），向陆地倾斜，平行海岸分布；海沼沙岭（Cheneir），孤立的海滩脊，周围为泥坪。

临滨（Near shore）：位于平均低潮面与平均浪基面之间， 上临滨（Upper nearshore）发育大型交错层理中细砂岩； 下临滨（Lower nearshore）发育水平纹理粉砂岩，

生物扰动构造发育。

障壁岛（Barrier Island）：平行海岸的长形砂体，与陆地之间以泻湖相隔，之上发育沙丘、海滩与临滨。

泻湖（Lagoon）：位于陆地与障壁岛之间的半封闭水体。

潮道（Tidal Inlet）：切割障壁岛的潮汐水道。

潮汐三角洲（Tidal delta）：潮道两侧的扇形砂体，位于泻湖一侧的为涨潮三角洲（Flood delta）；位于开阔浅海一侧的为退潮三角洲（Ebb delta）。

冲越扇（Washover Fan）：发育在泻湖一侧的扇形沉积体，由台风（hurricane）

形成。

滨海平原（Strand Plain）：一系列平行的海滩脊。

#### 二、无障壁海岸层序（自上而下）

海岸沙丘：高角度交错层理砂岩海滩：低角度交错层理砂岩

上临滨：大型交错层理砂岩

下临滨：生物扰动、水平纹理粉砂岩

外滨（Off shore）：生物扰动、水平纹理 与快状泥岩

三 、障壁海岸层序（自上而下）泻湖：沼泽、粉砂岩和泥岩

#### 海岸沙丘：风成砂岩

海滩：低角度交错层理砂岩

上临滨：大型交错层理砂岩

下临滨： 生物扰动、水平纹理粉砂岩

外滨： 生物扰动、水平纹理与块状层理砂岩

第三节 潮控海岸(Tide-Dominated Shoreline)

一、亚环境（Subenvironments）

潮上带（Supratidal zone）：位于平均高潮面之上，发育纹层状泥、沼泽，生物

扰动和直根发育。

潮间带（Intertidal zone）：亦称潮坪，位于平均高潮面与平均低潮面之间。 高

潮面（High-tide flat），又称泥坪，仅大潮才被淹没；中潮坪（Middle flat），混合坪，间歇性淹没，发育复合层理 ；低潮坪（Low flat）， 又称沙坪，大部分

时间位于水下，发育潮汐水道砂岩。

潮下带（Subtidal zone）：位于平均低潮面与浪基面之间， 发育大型交错层理砂

岩与双向交错层理砂岩。

总之，从潮上带到潮下带，水由浅变深，水动力由弱变强，沉积物粒度由细变粗。二、潮控海岸层序（自上而下）

潮下带：交错层理砂岩，发育再作用面潮上带： 沼泽与水平纹理泥岩高潮坪： 泥

岩，发育生物扰动中潮坪（Middle flat）： 粉砂岩与泥岩互层，发育复合层理

低潮坪（Low flat）：双向交错层理砂岩、大型交错层理砂岩潮下带（Subtidal）：块状、交错层理砂。

#### 第四章 碎屑浅海

Chapter Three Shallow siliciclastic Sea

一、分类（Classification of shallow sea）

##### 1、根据地理位置

边缘海（Marginal sea or precontinental sea ） : 开阔浅海，与海洋完全连通，较窄。

陆表海（Epeiric or epicontinental sea）： 浅、半封闭的浅海，如北海（ North

Sea）和黄海（Yellow Sea），较宽。

2、根据海底沉积物（Based on bottom sediments）

自生海（Autochthonous sea）： 海底被现代沉积物覆盖

异生海（Allochthonous sea）： 海底被古代沉积物覆盖（残留沉积物）

1. 海平面波动（Sea-level Fluctuation ）
2. 沉积作用（Sedimentation)
3. 洋流（Oceanic circulation)

不同纬度区海水温度的差异导致海水流动。

1. 潮流（Tidal current)

主要由于月亮与地球之间万有引力的变化导致海水流动。

1. 气候流（Meteorological current）

风、波浪、风暴等导致海水运动，是开阔海海水运动的主要能量来源。

1. 密度流（Density current）

温度、盐度及沉积物含量导致海水分层

1. 生物与化学作用（Animal—Chemical)

四、沉积物（Sediments）

残留沉积物（Relic sediment）： 更新世海侵前，在其它环境中形成的沉积物，其沉积特点与现代浅海环境不匹配。如古代的沙滩、障壁岛等，由于海侵而被淹没

于现代浅海之下，在海底保存为沙山（sand massifs）和沙脊 （sand ridges）。

现代沉积物（Modern sediment）： 在现代浅海环境中形成的沉积物，可以由潮汐、风暴、密度流、生物等作用形成，如浅海泥岩、自生矿物、生物碎片等。风暴砂岩

（storm sand）是现代浅海中最典型的沉积物，主要为丘状交错层理与递变层理砂岩，底部发育冲刷面、泥质碎片与生物贝壳。浅海泥或陆架泥（shelf mud）是现

代浅海中分布最广的现代浅海中两种风暴沉积序列沉积物，其中海相化石、生物扰动构造发 育。

Two types of storm sand sequence

丘状交错层理序列（自上而下） ：浅海泥岩，发育水平纹理与潜穴；波状交错

层理砂岩； 丘状交错层理砂岩；滞留沉积物

递变层理序列（自上而下）：浅海泥岩，发育水平纹理与潜穴；波状交错层理砂

岩；递变层理砂岩

##### 五、古代浅海沉积物的识别标准

Criteria for recognizing ancient shallow siliciclastic sea

1. 生物标准（Biological criteria）：狭盐分生物（Stenohaline sepcies—珊瑚 corals, 双壳cephalopods, 腕足articulate )，海相底息动物、浅海遗迹化石 (克

鲁兹迹Cruziana facies);

1. 矿物标准（Mineral criteria）： 磷酸盐（Phosphates）， 绿泥石（Glauconite）

和鲕绿泥石（ Chamosite）。

1. 沉积标准（Sedimentological criteria）： 古地理、相分布、沉积构造等的综

合分析。

第四章 深海—半深海碎屑体系

### Chapter Four Pelagic Clastic System 第一节 概况（Introduction）

一、研究历史

1. 主观认识阶段（Subjective stage）

长期以来，由于受技术条件的限制，传统沉积学主要根据机械分异原理（mechanic

differentiation）预测深海中的沉积物类型及分布, 并认为深海环境中以泥和粘土

为主，粗粒沉积物主要分布在陆地和浅水区。

1. 勘测研究阶段（Prospecting stage）

随着HMS Challenger 深海钻探计划的进行(1872~1876), 许多划时代的概念提

出来了，如密度流（density current）、 包马序列（Bouma sequence）、海底扇

（Submarine fan）、

等深流(Contourites)等。

John Murray，加拿大人，在苏格兰受教育，“Deep Sea Deposits”（ 1891），

提出了海底不仅发育细粒的泥和粘土，还发现粗粒沉积物。

1877~1880, Alexander Agassize, steamer Blake(USA)

1890~1899, steamer Pola(Austrian)

1898~1899, steamer Valdivia(German)

1910, vessel Michael Stars(Norwegian)

1925~1927, ship Meteor(German), ship Carnegie (American),

#### X-ray

1947~1948, 岩心技术（piston coring，Swedish)

在以后十几年内，海洋研究集中到美国，Woods Hole Oceanograpgic

Institution, Lamont—Doherty Geological Observatory and Scripts Institution

of Oceanography.

Forel(Swedish), 1985, 湖泊密度流

Daly(1936), 用密度流解释海底峡谷的成因

Johnson(1938), 提出浊流概念（ Turbidity Current)

Kuenen(1937, 1950), 做了大量的水槽实验，证实了密度流存在的可能

Kuenen and Migliorini(1950), “Turbidity current as a cause of graded

bedding”

Bouma(1962), 提出了“包马序列（Bouma Sequence）”

Middleton(1969), 对包马序列进行了水动力解释

DSDP(Deep See Drilling Project), 1968~1983

IPOD(International Phase of Ocean Drilling)

二、地貌特征（General Morphology）

坡折点（Break point）：大陆斜坡与大陆架的分界点水深大约200m。分界点向陆

地方向为陆架，坡度较缓，向海方向为大陆斜坡，坡度明显变陡，平均坡度为4o。海底峡谷（Submarine canyon）：大陆斜坡上的深谷，横断面呈“V”字形，壁较

陡，末端变缓，陆源沉积物或重力流的搬运通道。

海底扇（Submarine fan）：海底峡谷末端的扇形沉积体，其上发育水道。

深海槽（Trench）：大陆斜坡末端的深槽，又称深海地堑，可充填沉积物（厚达1000m）。

外脊（ Outer Ridge ）：深海槽外侧的隆起区。

陆隆（Continental Rise）：大陆斜坡末端的缓坡。

海山（Sea mount）：高出平均海底约1Km，有火山锥、平顶山等。

海丘（Abyssal hills）：高度小于1Km。

大洋中脊（Mid-ocean ridge）：大洋中部的火山带。

方解石补偿深度**CCD**(calcite compensation depth)：一般3800~4500m，在这一深度以

下方解石被溶解。

#### 第二节 沉积作用与沉积物

Section Two Sedimentation and sediments

一、沉积作用（Sedimentation）

1. 再沉积作用（Resedimentation）：所有导致沉积物在重力作用下沿斜坡向下搬

运机理，包括坍塌（falls )、 蠕动（creep）、滑动（slide）、滑移（Slump）及

各种重力流。

1. 正常沉积作用（Normal bottom current）：非重力驱动深部流体的侵蚀、搬运和沉积等，如内部波浪和潮汐、深海峡谷流体（canyon current）和底流（bottom

current）、等深流(contour current)。

1. 沉降（Setting）：slow setting in the pelagic water column.

二、沉积物（Sediments）

1. 深海软泥和粘土（Pelagic oozes and clays）

深海软泥（Pelagic oozes）： 钙质或硅质化石含量>30%

钙质软泥（calcareous oozes）：CaCO>30%，如包球虫软泥

硅质软泥（siliceous oozes）：CaCO<30%，硅质化石含量>30%，如放射虫软泥

深海粘土（Pelagic clays）：钙质与硅质化石含量<30%.

1. 再沉积沉积物（Reworked sediments） 3 3

海底扇（Submarine fan）；浊积岩（Turbidite）

1. 包马序列（Bouma Sequence，自上而下）：A:块状、递变层理段; B:平行层

理砂岩; C:波状、卷曲文理粉砂岩; D:水平纹理泥岩; E:深海泥岩

1. 海底扇（Submarine Fan）

海底扇（Submarine fan）：海底峡谷末端的扇形沉积体，可分为扇根、扇中与扇

端，其上发育水道、重力流与重力滑塌，与深海泥岩互层或含深水化石，通常发育

两种类型的海底扇：砂质扇与泥质扇。

砂质扇（Sand Fan）: 又称为圆形扇，扇面上水道呈辫状，峡谷供给，规模比泥质

扇小，直径：nKm~n\*100km。 泥质扇（Mud Fan）： 又称长形扇，三角洲供给，规模较大，长度：5km~1000km。

沉积物分布：从扇根到扇端为滑塌沉积物 碎屑流沉积物 液化流、颗粒流沉积物

近端浊流（高密度浊流） 末梢浊积岩（低密度浊流）

#### 第四部分 碳酸盐岩沉积学与沉积相

##### Part Four Carbonate Petrology and Facies

第一章 碳酸盐岩沉积学

#### Chapter One Carbonate Petrology

第一节 碳酸盐岩的组成与结构

Section One Composition and Texture of Carbonate

一、主要矿物

##### 高镁方解石、方解石、文石、白云石

1. 高镁方解石（High-Magnesian Calcite）

含MgCO: 12~17 mol%，不稳定，易转化为方解石和白云石，因此，古代沉积物

中少见。现代或原生高镁方解石主要产于红藻和无脊椎动物的骨骼中。

形成条件：富镁海水，Mg/Ca>2:1

1. 方解石（3 Calcite）

MgCO3为2~3 mol%，古代碳酸盐岩的主要成分。

形成条件： Mg2+ /Ca<22+ :1； 温32-度<16oCo； 有SO2-； PH值：7~8，盐度<3.5%。

1. 文石（Aragonite）

MgCO<2mol%，极不稳定，易转化为方解石

形成条件： Mg/Ca>2:1； 温度>15C； PH值>8，盐度高。

3

1. 白云石（Dolomite）

Mg/Ca=1，Mg 和Ca 交替与CO 排列，古代碳酸盐岩的主要成分。 白云石的成因较为复杂，将在白云岩的成因与分类中详细讨论。

二、主要组分及结构

##### 颗粒、基质、胶结物与孔隙

1、颗粒（Grain）

生物碎屑、内碎屑、鲕粒、团粒和藻粒

生物碎屑（Bioclast）：不同程度搬运与磨蚀的生物硬体（壳体）。

自形：具有生物的总体形态特征；

半自形：保存有生物的特殊形态；

沙砾级他形：壳体破碎强烈，但可鉴定出大门类； 粉沙级他形：壳体破碎强烈，难以识别生物门类。

内碎屑（Intraclast）：不同程搬运和磨蚀的盆内沉积的碳酸盐岩沉积物颗粒。

砾屑：>2mm，竹叶状，波浪与风暴成因 砂屑：2~0.05mm

粉屑：0.05~0.005mm，低能环境

泥屑：<0.005mm，与泥晶基质不易区分

鲕粒（Ooid）

核心：生物碎屑、石英、长石等

同心层：方解石、文石

真鲕：同心层多，且其厚度大于核心半径

薄皮鲕：同心层厚度小于核心半径

复鲕：包含两个以上的小鲕粒的复合鲕

##### 负鲕：无核鲕

假鲕：外形与鲕粒相似，但无同心层和核心

放射状鲕：具放射状结构

鲕粒成因：核心扰动è进入表层海水（饱和CaCO）è核心表面发生沉淀，形藻粒（Algalè Grain） è 3

成同心层 再沉入海底 再进入表层海水，形成同心层。

团粒（Pellet）

<0.02mm，球形或卵形，粪团粒，藻团粒，低能环境

与藻类有成因联系的碳酸盐岩颗粒

核形石（Oconlite） ：核心+藻菌类形成的同心层

凝块石（Clot）：藻凝聚的颗粒

1. 泥晶基质与亮晶胶结物（Matrix and Cement） 泥晶：小于0.005mm，泥屑、微晶，

亮晶：淀晶方解石，晶体较大，光学显微镜下形态可辩。

1. 孔隙（Pore）与碎屑岩相似

第二节 碳酸盐岩的分类与主要岩石类型

Section Two Carbonate Classification and

##### Typical Types

一、石灰岩分类（Limestone）

1. 二矿物成分分类
2. 结构—成因分类
   1. 福克Folk(1959)首次将碎屑岩的结构特点引用到碳酸盐岩分类中，提出了

异化粒、亮晶、微晶等新概念，成为现代碳酸盐岩分类的基础或里程碑。

正常化学岩类（化学或生物成因）和异常化学岩类（波浪、水流成因） 三元分类（三角形分类）：异化粒、基质、胶结物

类型体现了岩石形成的水动力强度

* 1. 邓哈姆（Dunham, 1962）分类

强调岩石的支撑类型，而把各组分的含量放在次要位置。

1. 现今分类

现今流行的碳酸盐岩分类都是建立在福克分类的基础之上，基本上采用了颗粒

—基质—胶结物三组分。余素玉（1992）

##### 二、白云岩（Dolostone）的成因与分类

1. 咸水白云岩成因 薄层状

形成条件：高盐度，高Mg/Ca比，高温，如潮上带萨布哈（Sebkha）毛细管浓缩

潮上带蒸发è海水向上运移è温度、盐度升高，文石、石膏沉淀èCa2+被消耗，

Mg2+浓度升高è白云石沉淀渗透回流

蒸发è表层海水浓缩，密度增加，沿斜坡下沉è较轻的底层水上浮，接受蒸发浓缩è上述过程反复进行，导致泻湖盐度生高，石膏沉淀è Ca2+被消耗，Mg2+浓度升高并发生白云石沉淀。

1. 混合水白云岩（ dorag dolomitization ）成因

同生期混合：泻湖内，高MG/Ca比的淡水与湖底沉积物作用，发生白云岩化； 准同生期：沉积物上升脱离海水，直接受大气降水的影响，孔隙中残留海水与淡水混合，发生白云岩化；

后生—成岩作用：在海水—淡水的混合带内，发生白云岩化，交代白云岩。

1. 典型白云岩

同生白云岩：潮上带、泻湖

藻白云岩：震旦系叠层石

成岩白云岩：与灰岩呈过度关系

后生白云岩：与断层、褶皱有关

### 第二章 陆相碳酸盐岩

#### Chapter Two Terrigenous Carbonate

##### 一、冷水碳酸盐岩

一般认为碳酸盐岩是浅水、低纬度的标志，但在高纬度地区也存在碳酸盐岩。

1. 现代高纬度碳酸盐岩

Daly(1934) and Askelsson(1936)报道法国西海岸和Fjord岛南部分布有碳酸

盐岩。

Teichert(1958) and Chave(1967)报道在许多高纬度浅水区的沉积物中含有

碳酸盐岩。

1. 古代高纬度碳酸盐岩

Briden and Irwing(1964)根据古地磁资料，推测某些古代碳酸盐岩分布于高

纬度地区。

* 1. 沙漠碳酸盐岩

萨布哈（Sabkha）、干盐湖发育盐岩、白云岩与石灰岩

* 1. 湖泊碳酸盐岩

##### 1、碳酸盐岩浅滩

湖岸、湖中隆起边缘清洁浅水区，有利于发育碳酸盐岩浅滩： 鲕粒灰岩，多为表鲕，表明湖泊碳酸盐岩浅滩能量较低； 生物碎屑灰岩，介形虫、双壳与螺化石

碎片。

1. 碳酸盐岩阶地

高能阶地：颗粒灰岩

低能阶地：泥晶灰岩、泥晶白云岩

1. 生物礁

阶地与斜坡间的坡折带，造礁生物为藻类（蓝绿藻），可分为礁前（角砾状灰岩）、礁核（藻灰岩）与后礁（泥

晶灰岩）。

1. 深水碳酸盐岩：泥晶白云岩与灰岩
2. 湖湾碳酸盐岩：泥晶白云岩
3. 盐湖碳酸盐岩：与盐岩共生的白云岩

第三章 台地碳酸盐岩

### Chapter Three Platform Carbonate

一、概况（Introduction）

1. 分布：现今碳酸盐岩主要分布在30oN and 30oS，温暖浅海，包括热带碳酸盐岩陆

架（tropical carbonate shelves）和温带碳酸盐岩陆架（temperate shelves）。

1. 碳酸盐岩台地（Carbonate platform）：分布于浅海区，平顶， 陡壁，四周为

深水环绕。 碳酸盐岩台地可分为开阔台地（open platform）：台地边缘无障壁；

局限台地（ close platform）：台地边缘发育障壁，如礁（reef）、岛（island ）和浅滩（shoals）。

1. 台地类型：碳酸盐岩缓坡（Rramp）、镶边台地（Rimmed Platform）、孤立台

地、沉没台地

潮湿型台地相分布：红树林沼泽 潮坪（含潮道） 沙脊

干旱型潮坪相分布：萨布哈 藻席 泻湖、潮道 鲕粒滩二、碳酸盐岩台

#### 地亚环境

Subenvironments on Carbonate Platform

1. 潮上带（Supratidal zone）：位于平均高潮面之上。宽窄差异大，如Bahamas

台地，较缓，宽几公里； Shark湾，较窄。 在潮湿气候带，发育藻—红树林沼泽，

常见鸟眼构造（birdeye）、根痕和倒“V”形构造（tepees）；在干旱气候带，发育蒸发岩，常见混合白云岩化（dorag dolomitization ）。

1. 潮间带（Intertidal zone）： 潮间坪（ intertidal flat ）、潮道（ tidal channel ）、天然堤（levee） 、塘（ pond ）、沙滩脊（ beach ridge ）。 潮间坪（Intertidal flat）：藻席（ algal mats）、球粒灰泥（pelletal lime

mud），生物扰动（ bioturbation ）和植根（ root of mangrove ）发育。

##### 潮道（Tidal channel）： 底捕侵蚀面上发育贝壳（ shells）和

内碎屑（ intraclasts），向上为球粒（ pellets ）。

天然堤（Levee）： 位于平均高潮面之上30CM左右，发育纹层状球粒，常见鸟

眼构造。

塘（Pond）： 被天然堤包围，其内发育盐水和细粒沉积物。

沙滩脊（Beach ridges）： 沿天然堤外侧分布，沉积纹层状球粒和交错层理

沙屑。

1. 潮下带（subtidal）：陆架（shelves），在高能陆架（窄，无障壁），发育灰

泥质沙沉积；在低能陆架（宽、有障壁）发育灰泥沉积。

1. 台地边缘（Platform margin ）：

滩：鲕粒滩（ ooid beach ）和非鲕粒滩（non-oolitic grain beach），非

鲕粒包括内碎屑（ intraclast），生物碎

屑（bioclast）、球粒（ pellet）和藻粒（ algal）。 礁（Reefs）： 前礁（fore reef）、礁前（reef front）

礁坪（reef flat）和后礁（ back reef）。

前礁（Forereef）：倒石锥（talus），同生角砾岩（碎块灰岩、漂砾灰岩）

礁核（reef core）：礁前（Front reef）：造礁生物，粘结岩（Boundstone）

与障积岩（Bafflestone）；礁顶（Crest）：结壳灰岩；礁坪（reef flat）：碎块

灰岩。

后礁（back reef）：灰泥夹滞积灰岩

礁的类型： 环礁（Atolls）：环状礁复合体，环绕平底泻湖； 岸礁（Coast reef）；

点礁（point feef）

礁的生长过程： 定植阶段，形成礁的生长核（基础）； 拓植阶段，生物在生

长核上生长，多为枝状； 泛植阶段，生物繁殖的鼎盛时期，形态多样； 统植阶

段，生物种属减少。

标准相模式（Standard facies belts，Wilson, 1975)表1

Table: Standard facies belts(Wilson, 1975)表2

Table: Standard facies belts(Wilson, 1975)表3

###### 第四章 斜坡带碳酸盐岩

Chapter Four Slope Carbonate

（参照碎屑岩大陆斜坡）

第五章 深海碳酸盐岩

###### 斜坡带碳酸盐岩