



# 油气储层地质学基础

## Basis of Hydrocarbon Reservoir Geology

于兴河 教授 博士生导师

中国地质大学（北京）能源学院石油教研室

Tel: 82320109 或 82321857 (O)

Email: [billyu@cugb.edu.cn](mailto:billyu@cugb.edu.cn)





# 第二章 碎屑岩储层的基本特征



## 第一节 储层的物理特性

## 第二节 储层的几何特性

## 第三节 储层的岩石学特征



## 第二章 碎屑岩储层的基本特征

碎屑岩储层与碳酸盐岩和其它岩类储层相比具有**四个优点**：①孔隙以粒间孔为主，而碳酸盐岩多为粒内孔；②沉积作用控制强；③粒度的粗细对孔、渗的影响通常具有较好的规律性；④压实过程比较清楚，并易进行定量分析。

### 第一节 储层的物理特性

#### 一、储集岩的孔隙性

岩石的孔隙广义上讲是指岩石中未被固体物质所充填的空间部分，也称储集空间或空隙；它包括**粒间孔、粒内孔、裂缝、溶洞**等。而狭义的孔隙则是指岩石中颗粒间、颗粒内和填隙物内的空隙。



# 第一节 储层的物理特性

表2—1 碎屑岩的常见孔隙分类方案

分类方法	分类标准	分类结果
按孔隙与颗粒的接触关系	孔隙在岩石中分布的位置	粒间孔隙
		粒内孔隙
		填隙物内孔隙
按孔隙成因	成岩作用前或中	原生孔隙
	成岩作用后	次生孔隙
按孔径大小和裂缝宽度	孔径 > 0.5mm	超毛细管孔隙
	0.5mm > 孔径 > 0.0002mm	毛细管孔隙
	孔径 < 0.0002mm	微毛细管孔隙
按孔隙对流体的渗流情况	孔隙连通	有效孔隙
	孔隙孤立	无效孔隙



# 第一节 储层的物理特性

## 1、按照孔隙的成因可将孔隙分为两大类：

①原生孔隙：指沉积物沉积后，成岩作用之前或同时所形成的孔隙；

②次生孔隙：指在成岩作用之后，由于溶解、重结晶和白云岩化作用等产生的孔隙。

## 2、按孔隙对流体的渗流情况分类：

①有效孔隙： ②无效孔隙：

## 3、依据孔隙直径和裂缝或裂隙宽度及对流体的作用，将孔隙分为三类：

①超毛细管孔隙： ②毛细管孔隙： ③微毛细管孔隙：



# 第一节 储层的物理特性

## (二) 孔隙度

孔隙度是控制油气储量及储能的重要物理参数，它是储层研究、评价及预测过程中的重要研究对象。通常依据孔隙的大小和连通情况，孔隙度可分为绝对孔隙度和有效孔隙度两类：

### 1、绝对孔隙度

岩样中所有孔隙空间体积之和与该岩样总体积的比值。

$$\phi_t = \frac{\sum V_p}{V_r} \times 100\%$$

### 2、有效孔隙度

是指那些互相连通的、且在一定压差下允许流体在其中流动的孔隙总体积（即有效孔隙体积）与岩石总体积的比值。

$$\phi_e = \frac{\sum V_e}{V_r} \times 100\%$$



# 第一节 储层的物理特性

储层的有效孔隙度一般在5~30%之间。最常见的为10~25%，根据储层有效孔隙度的大小，可以粗略地评价储层性能的好坏。

## 我国碎屑岩与碳酸盐储层孔隙度评价标准

碎屑岩	$\Phi \geq 30$	$25 \leq \Phi < 30$	$15 \leq \Phi < 25$	$10 \leq \Phi < 15$	$5 \leq \Phi < 10$	$\Phi < 5$
	特高孔	高孔	中孔	低孔	特低孔	超低孔
碳酸盐岩	$\Phi \geq 20$		$12 \leq \Phi < 20$		$4 \leq \Phi < 12$	$\Phi < 4$
	高孔		中孔		低孔	特低孔

表2—2 我国东部碎屑岩储层孔隙度的常用标准

级别	范围 (%)	评价
I	>25	极好
II	25 ~ 20	好
III	20 ~ 15	较好
IV	15 ~ 10	中等
V	10 ~ 5	较差
VI	<5	无价值



## 第一节 储层的物理特性

- **连通孔隙度**: 是总孔隙减去死孔隙的含量;
- **流动孔隙度**: 则表示总孔隙减去死孔隙和微毛细管孔隙的含量。

因此, **总孔隙度 > 连通孔隙度 > 流动孔隙度**;

### (三) 孔隙度的测定

岩石孔隙度的测定一般有两类方法:

- **直接法**: 薄片、压汞及实验测试法, 用岩石薄片进行镜下统计求取面孔率来代替孔隙度的方法, 属直接法。
- **间接法**: 地震与测井的解释计算方法, 在对油田井下储层, 尤其是没有取芯的层段进行孔隙度测定和预测时, 多采用间接的地球物理方法求取, 包括测井和地震方法, 还可用试井方法。





# 第一节 储层的物理特性

## (四) 孔隙度的影响因素

碎屑岩是由母岩经破碎、搬运、胶结和压实而成，因此碎屑的类型、数量以及成岩后的压实作用就成为影响这类岩石孔隙度的主要因素。

### 1、岩石的矿物成分

在其它条件相同时，一般石英砂岩储油物性好，这主要是因为长石的亲油、亲水性比石英强。当被油、水润湿时，长石表面所形成的液膜一般是不移动的，它在一定程度上减少了孔隙的流动截面和储集体积。

### 2、颗粒的排列方式及分选性

不同的颗粒排列方式对孔隙空间的形态和大小有着很大的影响。

# 第一节 储层的物理特性

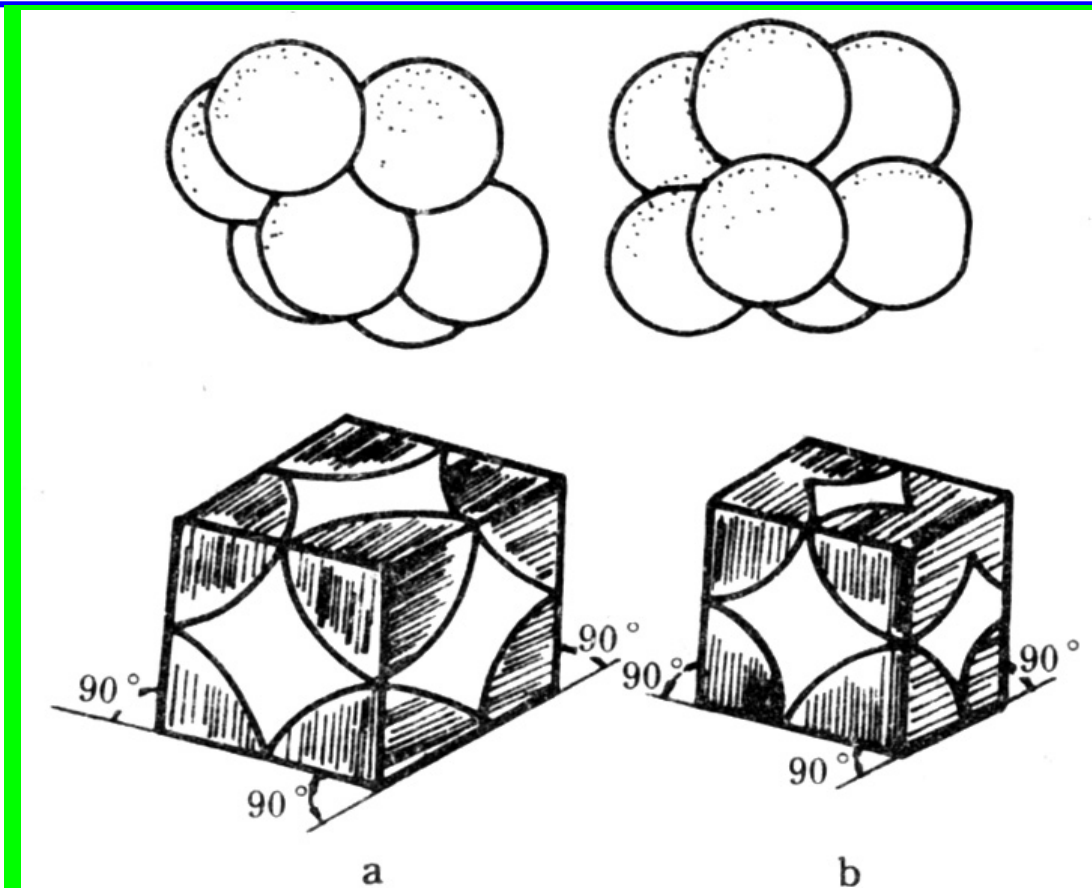


图 2—1 典型的有序多孔介质结构及相应的孔隙度  
(引自何更生, 1994)

a—等大圆球的立方体排列,  $\phi \approx 47.64\%$  ;

b—等大圆球的斜方六面体排列,  $\phi \approx 25.96\%$



# 第一节 储层的物理特性

除了粒径及排列方式外，颗粒的分选程度对孔隙度影响很大。岩石分选差时，小颗粒碎屑充填了颗粒间的孔隙和喉道，会降低孔隙度和渗透率（图2—2）。

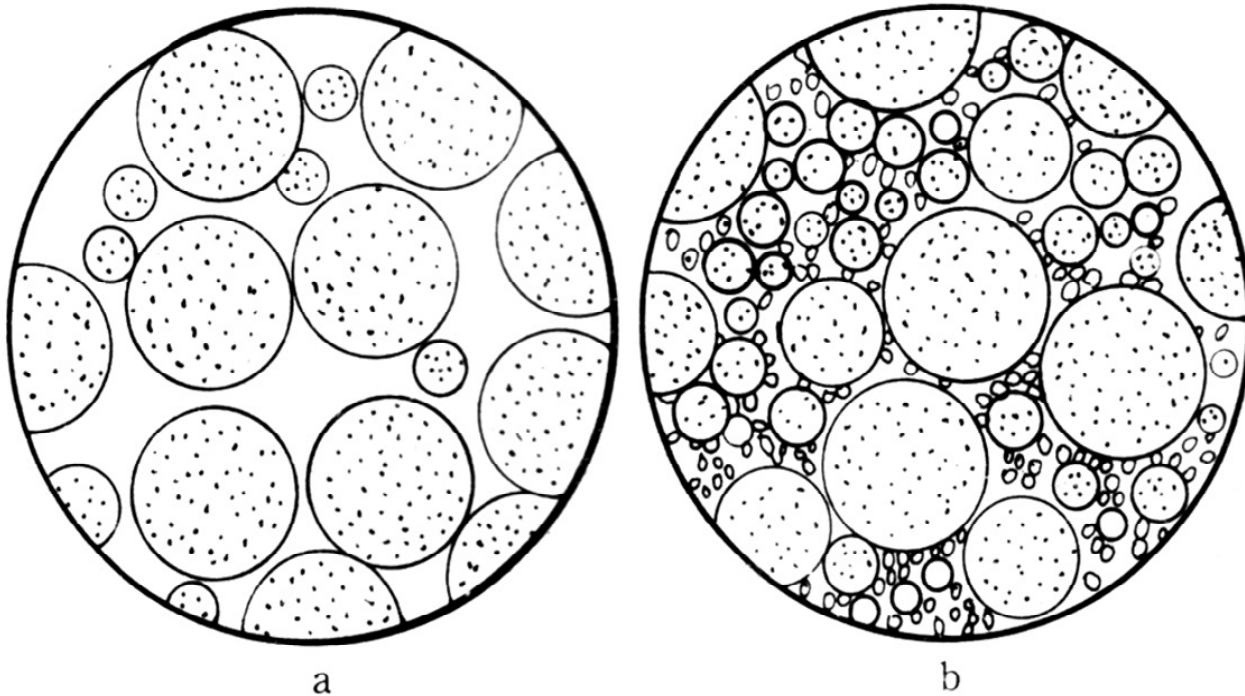


图 2—2 分选程度对孔隙度的影响（引自何更生，1994）  
a—分选好的物质， $\phi \approx 32\%$ ；b—分选差的物质， $\phi \approx 17\%$ ；



# 第一节 储层的物理特性

## 3、埋藏深度

沉积岩随着上覆岩层的加厚、深埋的加大，地层静压力和温度的也随之增大，使得岩石排列更加紧密，颗粒间发生非弹性的、不可逆的移动，使孔隙度迅速下降。

$$\phi = Ae^{-Bz}$$

A、B为常数；z为埋深

## 4、成岩作用

在一定温、压力条件下，不同的溶液对岩石矿物具有选择性溶解的特点，进而形成次生孔隙。一般而言，有机酸水溶液对硅酸盐矿物易溶，而对碳酸盐矿物难溶；无机酸水溶液则正好相反。

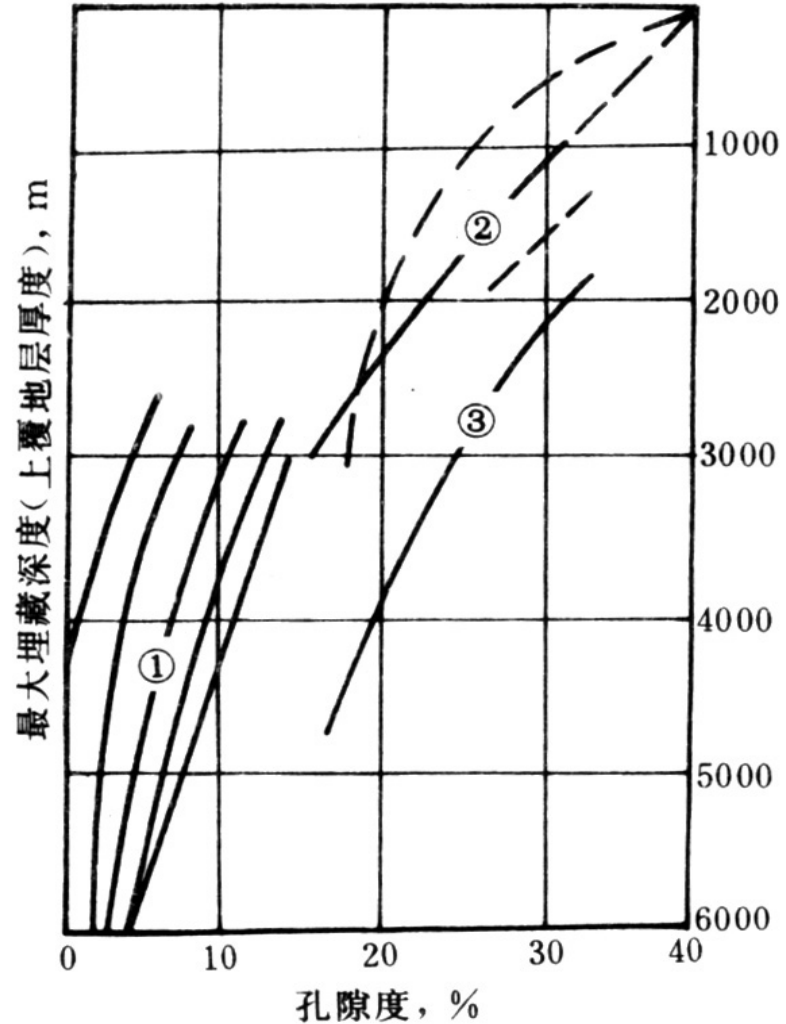


图 2—3 孔隙度与最大埋藏深度关系图  
(据 Mayer-Curr, 1978)  
①—泥质砂岩 (含云母); ②—侏罗—白垩纪石英砂岩;  
③—第三纪石英砂岩



## 第一节 储层的物理特性

储集岩的渗透性是指在一定的压差下，岩石本身允许流体通过的性能。

同孔隙性一样，它是储层研究的最重要参数之一，它不但影响着油气的储能，而且更重要的是其控制着产能。渗透性的好坏常用渗透率来表示。

### (一) 绝对渗透率

它是在实验室内所测得的岩石对流体的渗透能力称之为该岩石的绝对渗透率，对液体来说，计算公式为：

$$K = \frac{Q\mu L}{(P_1 - P_2)Ft}$$

式中： $K$ ——岩样的绝对渗透率（达西）； $Q$ ——液体在 $t$ 秒内通过岩样的体积（ $\text{cm}^3$ ）； $P_1$ ——岩样前端压力（大气压）； $P_2$ ——岩样后端压力（大气压）； $F$ ——岩样的截面积（ $\text{cm}^2$ ）； $L$ ——岩样的长度（ $\text{cm}$ ）； $\mu$ ——液体的粘度（厘泊）； $t$ ——液体通过岩样的时间（秒）。

渗透率单位为平方微米，即  $\mu\text{m}^2$ ，或  $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

$$1 \mu\text{m}^2 = 1.013 \text{达西}; 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 = 1.013 \text{md}$$



# 第一节 储层的物理特性

绝对渗透率是与流体性质无关而仅与岩石本身孔隙结构有关的物理参数。目前生产上使用的绝对渗透率一般是用空气测定的空气渗透率，渗透率单位常用 $10^{-3} \mu m^2$ 来表示。

## 我国碎屑岩与碳酸盐储层渗透率评价标准

碎屑岩	$k \geq 2000$	$500 \leq k < 2000$	$50 \leq k < 500$	$10 \leq k < 50$	$1 \leq k < 10$	$0.1 \leq k < 1$
	特高渗	高渗	中渗	低渗	特低渗	超低渗
碳酸盐岩	$k \geq 100$		$10 \leq k < 100$		$1 \leq k < 10$	$k < 1$
	高渗		中渗		低渗	特低渗



# 第一节 储层的物理特性

## (二) 有效渗透率

当有两种以上流体存在于岩石当中时，对其中一种流体所测得的渗透率为有效渗透率。它表示岩石在其他流体存在的条件下，传导某一种流体的能力，不但与岩石的孔隙结构有关，而且与流体的饱和度有关，通常用  $K_o$ 、 $K_g$ 、 $K_w$  来分别表示油、气、水的有效渗透率。

## (三) 相对渗透率

岩石对各流体的有效渗透率与该岩石的绝对渗透率之比，它是衡量某一种流体通过岩石能力大小的直接指标。分别用符号

$$\frac{K_o}{K}、\frac{K_g}{K}、\frac{K_w}{K}$$

表示油、气、水的相对渗透率。

有效渗透率和相对渗透率，不仅与岩石性质有关，而且与流体的性质以及饱和度有关（图2—4）。

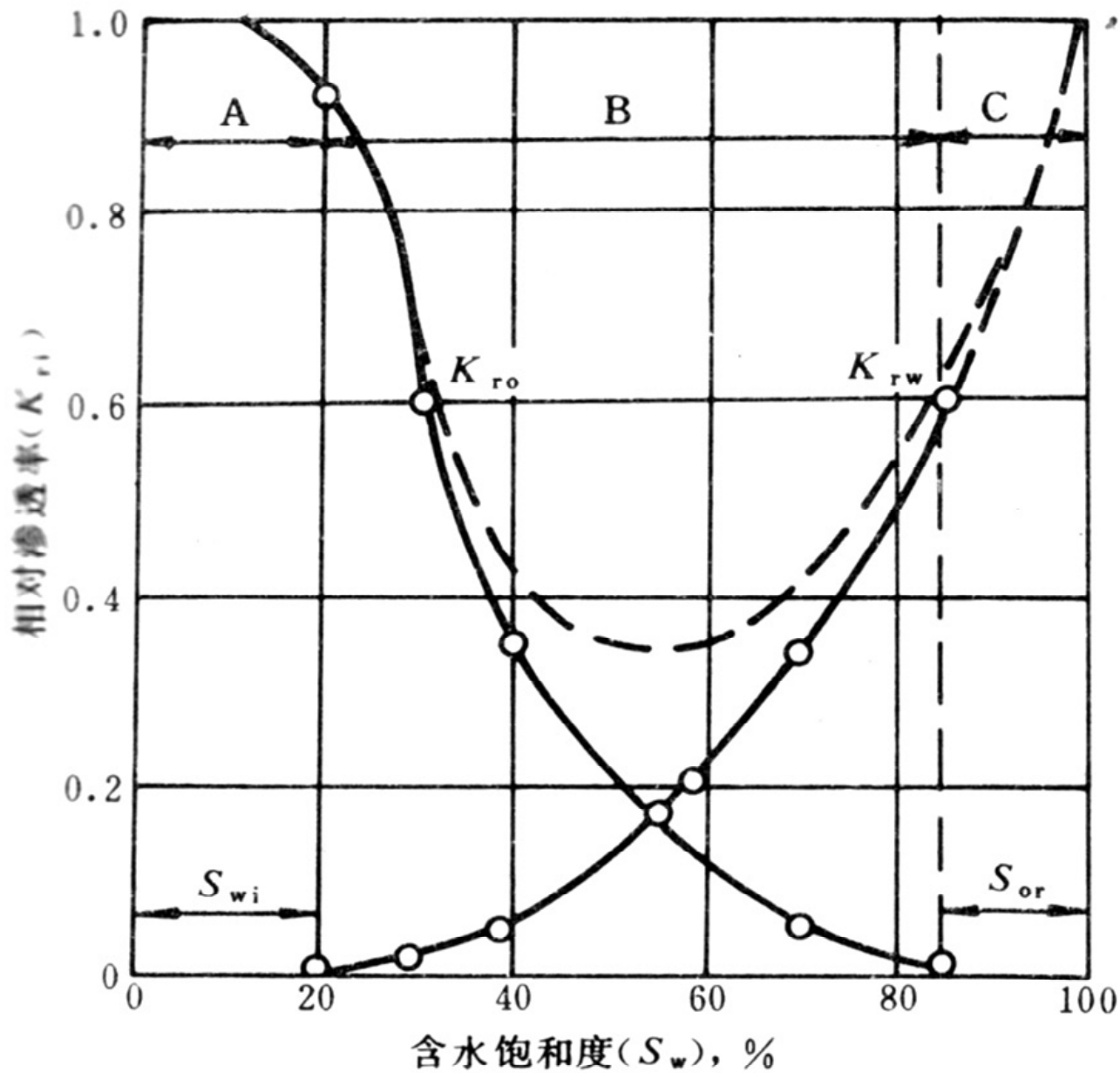


图 2—4 油水相对渗透率曲线 (引自何更生, 1994)





# 第一节 储层的物理特性

根据绝对渗透率和相对渗透率的概念不难看出，绝对渗透率仅与岩石本身的孔隙结构有关，与流体性质无关，而相对渗透率则与两者均有密切关系。

## 1、绝对渗透率的影响因素

影响岩石渗透率的因素很多，其中主要包括以下三个方面：

### 1) 岩石特征的影响

主要指岩石的**粒度**、**分选**、**胶结物**和**层理**等，它们对渗透率均有影响。

### 2) 孔隙结构的影响

一般而言，绝对渗透率不仅与孔隙度有关，主要还取决于孔隙结构（图2—5）。凡影响岩石孔隙结构的因素都影响渗透率。

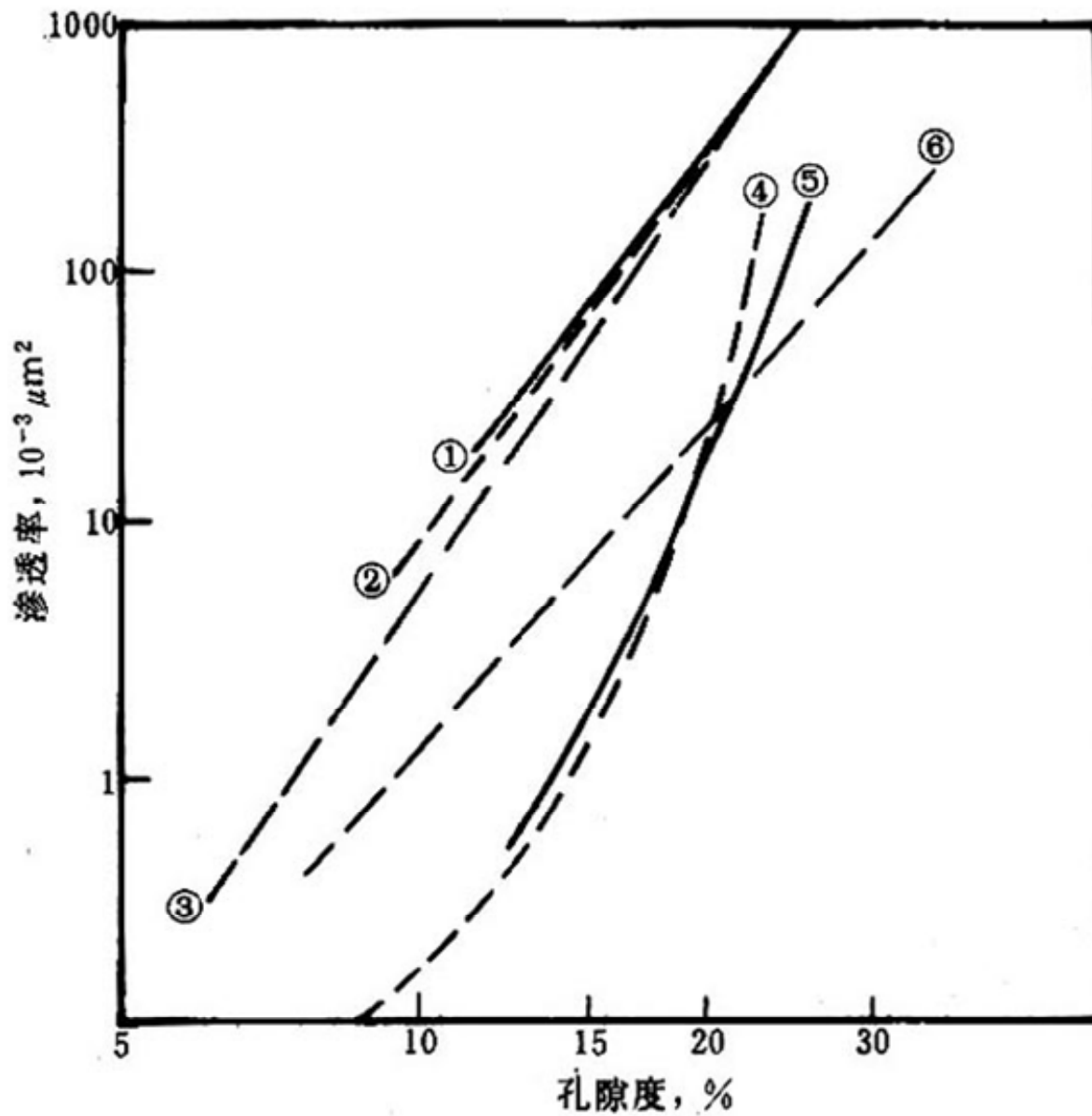


图 2—5 孔隙度与渗透率的关系 (据 Timmerman, 1982)

- ①—清洁砂；②—分选好的细砂；③—分选极好的细砂；④—分选好的很细的砂；⑤—中等分选的很细的砂；⑥—分选差的细砂



# 第一节 储层的物理特性

## 3) 压力和温度的影响

- **温度不变时**，渗透率随静压力的增大而相应减小，当压力超过某一数值时，渗透率就急剧下降。
- **随温度升高**，压力对渗透率的影响将减小，特别是在压力较小的情况下。这是由于温度升高，引起岩石骨架和孔隙中流体发生膨胀，阻碍了压实。

## 2. 相对渗透率的影响因素

### 1) 润湿性的影响

岩石润湿性对相对渗透率影响的总趋势是随着岩心由强亲水转化为强亲油，油的相对渗透率趋于降低。

- **亲水岩石**，水常分布在细小孔隙、死孔隙或颗粒表面上，水的这种分布方式使得其对油的渗透率影响很小；
- **亲油岩石**在同样的饱和度条件下，水既不在死孔隙，也不是水膜，而是以水滴，连续水流的形式分布在孔道中阻碍着油的渗流，油本身以油膜附着于颗粒表面或在小孔隙中，因而在相同的含油饱和度下，油的相对渗透率会降低。



# 第一节 储层的物理特性

## 2) 孔隙结构的影响

由于流体饱和度分布及流体流动的渠道直接与孔隙大小和分布有关，因而反映岩石中各相流动阻力大小的相对渗透率曲线也必然受其影响。

## 3) 温度的影响

束缚水饱和度随温度增大的变化是温度对相对渗透率影响的重要特征。此外，温度增高，会导致岩石热膨胀，使孔隙结构发生变化，渗透率也会随之改变。

## 4) 优势流体相饱和度的影响

除上述因素外，还有很多其它因素，如流体粘度等。当非润湿相粘度很高、且大大高于润湿相时，非润湿相的相对渗透率随两相粘度比增加而增加，而润湿相的相对渗透率与粘度比无关。



## 第一节 储层的物理特性

通常在油气储层的孔隙中为油、气、水三相所饱和，在压力高于饱和压力的油藏中，则为油水两相所饱和。所饱和的油、气、水含量分别占总孔隙体积的百分数称为油、气、水的饱和度。

倘若储层中含油、气、水三相，则：

$$\text{含油饱和度 } S_o = \frac{V_o}{V_p} = \frac{V_o}{V_f} \times 100\% ;$$

$$\text{含气饱和度 } S_g = \frac{V_g}{V_p} = \frac{V_g}{V_f} \times 100\% ;$$

$$\text{含水饱和度 } S_w = \frac{V_w}{V_p} = \frac{V_{wo}}{V_f} \times 100\%$$

$V_p$ 为孔隙体积， $V_f$ 为岩石体积。



## 第一节 储层的物理特性

含油饱和度是油气勘探与开发阶段很重要的参数，确定原始含油饱和度，才能准确地进行储量计算。它所不同于孔隙度与渗透率的是它既不是标量，也不是矢量，而是一个难于算准的变量。

**必须指出的是：**油层中岩石含水饱和度的数值与石油在原始含水层中的集聚过程、石油的粘度、油水分界面上的表面张力、岩石中的颗粒分布、油水接触面与取芯位置的接近程度、岩石中粘土含量、特别是岩石孔隙大小和分布等有关。单靠渗透率不能决定油层的含水饱和度。



## 第一节 储层的物理特性

### (一) 储层的概念

凡是能够储存油气并在其中渗滤流体的岩石称为**储集岩**。储存流体主要是由岩石的孔隙性决定的，而渗滤流体则是由岩石的渗透性所决定，二者缺一不可。这就是说储集岩必须具备两个基本要素：**孔隙度和渗透率**。因而，由储集岩所构成的地层称之为**储层 (Reservoir)**。

当储层中含有工业价值的油气流时，人们通常称为**油层、气层、或油气层**。

全球的石油和天然气勘探实践表明，三大岩类中均发现有油气田，但99%以上的油气储量都储集在沉积岩中，其中又以碎屑岩和碳酸盐岩为主，而我国90%以上的油气储量则分布在碎屑岩地层之中。



# 第一节 储层的物理特性

## (二) 储层分类

表2—4 常见储层分类方案

分类标准		分类结果
岩 性		碎屑岩储层
		碳酸盐岩储层
		其它岩类
物 性	孔 隙 度	高孔储层
		中孔储层
		低孔储层
	渗 透 率	高渗储层
		中渗储层
		低渗储层
储集空间		孔隙型储层
		洞穴型储层
		裂缝性储层
		孔洞性储层
		缝洞性储层
油气性质		稠油储层
		常规油储层
		煤成油储层





# 第一节 储层的物理特性

表2—5 我中东部陆相油田常见的储层分类方案

类型	孔隙度 (%)	渗透率 (md)
高孔高渗型储层	>30	$>500 \times 10^{-3} \mu m^2$
中孔中渗型储层	30 ~ 20	$500 \sim 100 \times 10^{-3} \mu m^2$
中孔低渗型储层	20 ~ 10	$100 \sim 10 \times 10^{-3} \mu m^2$
低孔低渗型储层	15 ~ 10	$10 \sim 1.0 \times 10^{-3} \mu m^2$
致密型储层	10 ~ 5	$0.1 \sim 0.02 \times 10^{-3} \mu m^2$
超致密型储层	2	$0.02 \times 10^{-3} \mu m^2$

表2—6 我国某气田的孔、渗、喉储层分类标准一览表 (于兴河等, 1996)

孔隙度 (%)	<9	9 ~ 19	>15
	低孔	中孔	高孔
渗透率 ( $\times 10^{-3} \mu m^2$ )	<10	10 ~ 20	>20
	低渗	中渗	高渗
喉道半径 ( $\mu m$ )	<1.2	1.2 ~ 5.8	>5.8
	细喉	中喉	粗喉

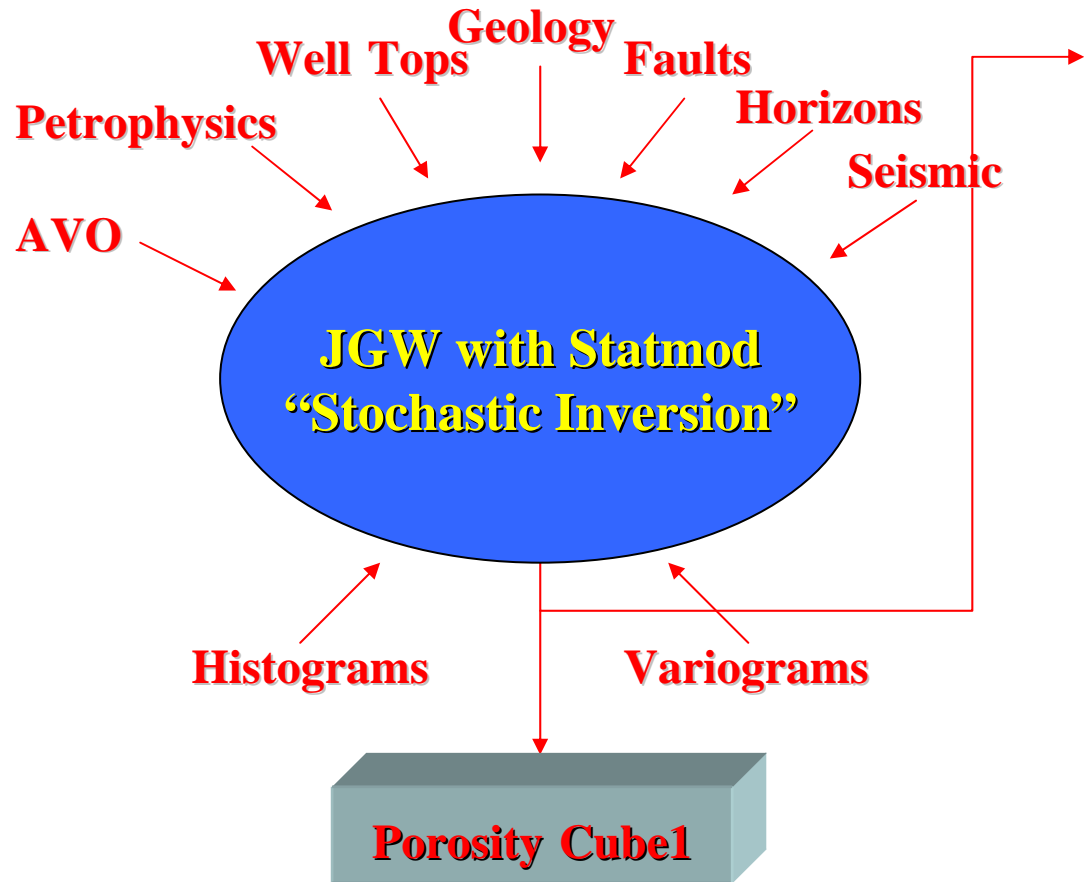


# 第一节 储层的物理特性

## (二) 储层分类

储层物性的分类区间对于评价和预测储层的物性变化十分重要，其确定方法应是在统计直方图的基础上，依据其分布的规律，最好是遵循正态分布的规律进行。它直接影响着油气储层的综合评价与随机建模的门限和步长。

## Technology Tomorrow





## 第二节 储层的几何特性

### 一、砂体的剖面几何特征

研究储集单砂体剖面的几何特征，通常可起到五个作用：

①井间对比的原则；②确保砂体的连通形式，即叠置关系；③推测砂体延伸范围；④分析沉积（微）相的空间展布；⑤建立储层骨架模型的依据。

#### （一）顶平底凹型透镜体

此种剖面形态，通常为各种水道沉积砂体横剖面的主要特征和各种充填沉积的结果。

- 垂向上多为向上变细的正韵律结构，其底部常具有冲刷面；
- 测井曲线上多表现为钟形，或低幅锯齿状钟形，个别情况下为箱形（辫状河）。
- 其宽/厚比的大小取决于不同的水道或河流性质。



## 第二节 储层的几何特性

### (二) 平顶凸型透镜体

这种形态的砂体主要是由**前积作用**，如三角洲河口坝沉积的产物，另外，沿岸坝、远砂坝以及障壁岛的剖面形态也属此类。

- **垂向上**为向上变粗的反韵律结构；
- **测井曲线上**则多表现为漏斗型，
- **其宽厚比**的大小，主要取决物源供给和地形坡度的陡缓。

### (三) 顶凸底凹型透镜体

此种形态类型的单个砂体并不多见，通常是一些小规模沉积砂体，如三角洲前缘的**指状砂坝**等可成为此种形态。

此种砂体的宽/厚比一般较小。



## 第二节 储层的几何特性

### (四) 楔形

平行于流水方向的各种**扇和三角洲**，通常冲积扇或盆底扇砂体的横剖面形态常为楔状，其砂体厚度向盆地方向逐渐变薄。

### (五) 板状

这种剖面形态，通常没有固定的沉积砂体类型，一般河道砂体的纵剖面和滩砂沉积横向剖面可为这种形态。

- **垂向剖面上**粒度无明显的粗细变化，
- **测井曲线上**多为箱形，
- **其宽/厚比**通常大于3:1，小于20:1。

### (六) 条带状

其宽/厚大于20:1，这种剖面形态，多为**三角洲前缘席状砂和河道堤岸砂**沉积的产物，此种砂体通常厚度较小，其粒度偏细，内部无明显的韵律变化。



## 第二节 储层的几何特性

表 1—6 砂体剖面几何形态分类特征表

类别	沉积砂体及沉积作用	沉积特征	测井曲线特征	宽/厚比	示意图
顶平底凹型透镜体	各种水道沉积砂体, 各种充填沉积	正韵律, 底部常具有冲刷面	多为钟形, 个别为箱形	取决于不同的水道或河流	
底平顶凸型透镜体	三角洲河口坝、沿岸坝、远砂坝、障壁岛, 前积作用	反韵律	漏斗型	取决物源供给和地形坡度的陡缓	
顶凸底凹型透镜体	三角洲前缘的指状砂	反韵律	漏斗型	较小	
楔形	平行于流水方向各类扇和三角洲			厚度向盆地方向逐渐变薄	
板状	河道砂体的纵剖面 and 滩砂沉积横向剖	粒度无明显的粗细变化	多为箱形	大于 3:1, 小于 20:1	
条带状	三角洲前缘席状砂和河道堤岸砂沉积	厚度较小, 粒度偏细, 无明显的韵律性	指状或小型舌状	大于 20:1	

## 第二节 储层的几何特性

### 二、砂体平面的几何形态

#### (一) 分类

为了反映砂体三维空间的形态变化及展布特征，采用长/宽/厚度的比值来加以描述(R.B.Robert, 1986)。它们分别用L、W、T来代表。

- 1) 席状:  $L=W > 100T$ ;
- 2) 扇形或朵状:  $L=W > 100T$ ;
- 3) 椭圆状:  $L > W > 100T$ ;
- 4) 线状:  $L > 10W > 300T$ ;
- 5) 指状:  $L > 10W > 100T$ 。

席状与朵状主要的区别是前者平面上呈等轴状，后者呈朵叶状。

指状与线状则主要是展布方向与变化趋势的不同，前者是向单方向变薄并尖灭，后者则是向两端变薄和砂灭。

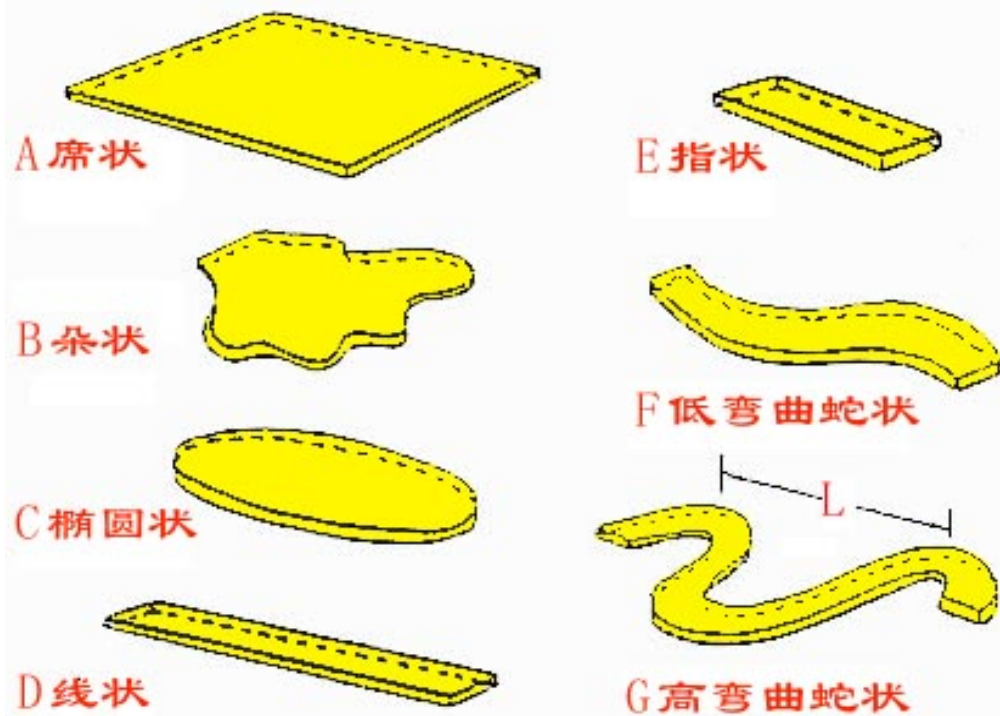


图1—6 砂质沉积组合体的空间形态类型 (据R. B. Robert, 1986)



## 第二节 储层的几何特性

### (一) 分类

类别		长/宽	砂体特征	常见砂体类型	示意图
席状		$L/W \approx 1$	等轴状, 厚度薄而稳定	陆棚砂、海滩砂	
扇状	扇状	$L/W < 3$	向盆地方向增厚并呈扇形散开, 至前端厚度逐渐变薄	冲积扇、海底扇、扇三角洲砂体、陡坡三角洲、断陷湖盆长轴河控三角洲	
	朵状				
	朵叶状				
	鸟足状				
长形状	条带状	$20 > L/W > 3$	厚度不稳定	沿岸沙坝、障壁岛、河流、三角洲、潮汐水道	
	树枝状				
	带状				
	鞋带状	$L/W > 20$			
透镜状		$L/W < 3$	分布面积特别小	浊积透镜体, 废弃河道	



## 第二节 储层的几何特性

### 二、控制平面形态的机制

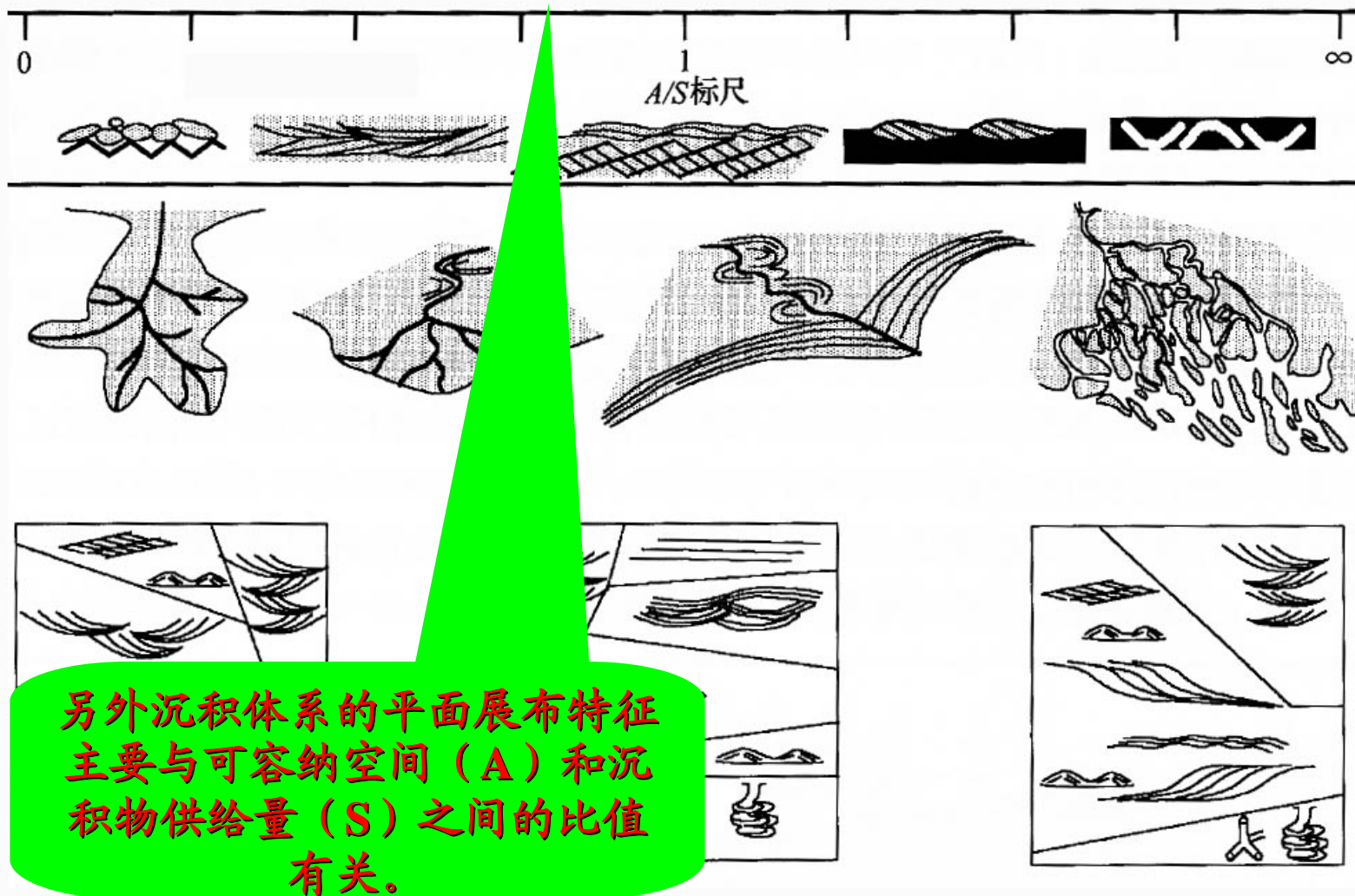


图 2—8 随 A/S 值变化的不同三角洲类型及其相组成的变化 (据 T. A. Cross, 1999)



## 第二节 储层的几何特性

多边式

河道分叉与迁移所造成的多边式

单边式

河道单向迁移所造成的单边式

多层式

河道摆动与合并所造成的多层式

孤立式

河流的泛滥与河道分叉所造成的孤立式

三、砂体的空间叠置与成因

砂体空间叠置(连通)形式与沉积作用的关系



## 第二节 储层的几何特性

### 四、储层结构形体

表 2—7 储层空间结构形体类型特征表

类型	砂体组合方式	砂体间特征	岩石物性	单砂体特征	示意图 (■泥 □砂)
拼合状结构	砂体多层式叠置	砂体间没有大的孔隙，偶有非渗透隔层	砂体间岩石物性变化大	连续性好，厚度大而稳定	
迷宫状结构	多个砂岩透镜体孤立组合	砂体间由薄层席状低渗透砂岩连接	砂体间岩石物性变化大	小而连续性差	
千层饼状结构	单边式或多边式砂体的叠置	砂体间界线与性质的变化或阻流界线一致	水平渗透率稳定连续，垂向渗透率渐变	水平连续性好，厚度渐变	
馅饼状结构	孤立式砂体叠置	连通性较差	变化大	连续性中等偏差，厚度变化大	



## 第二节 储层的几何特性

表2—8 碎屑岩不同沉积环境中砂体的结构模型

陆 相	过 渡 相	海 相	结构模型
湖泊席状砂 三角洲前缘席状砂 风成砂丘	障壁坝 海岸沙脊沉积物 海侵砂	浅海席状砂 滨外沙坝 外扇浊积砂	千层饼状 为主
辫状河沉积物 曲流河点砂坝 湖泊/冲积混合沉积 风成/干谷混合沉积	沉积相复合体, 如 障壁坝与潮道充填复合体 高N/G (净/毛) 比的 分流河道与河口坝复合体	风暴砂透镜体, 中扇的浊积水道 与浊积砂的复合体	拼合状为 主
低N/G (净/毛) 比的 冰水沉积物、 低弯曲度河道	低弯度三角洲分流 河道充填沉积物	内扇浊积水道砂 滑塌岩, 低N/G (净/毛) 比的风暴沉积物	迷宫状为 主
网状河充填沉积物 高弯度曲流河砂体 决口扇砂体	沿岸砂坝 三角洲前缘的远砂坝 三角洲前缘决口砂体	滨外沙坝或砂嘴 外扇浊积砂朵体 滨外沙脊	馅饼状为 主



# 第三节 储层的岩石学特征



## 一、碎屑岩储层的岩石学特征

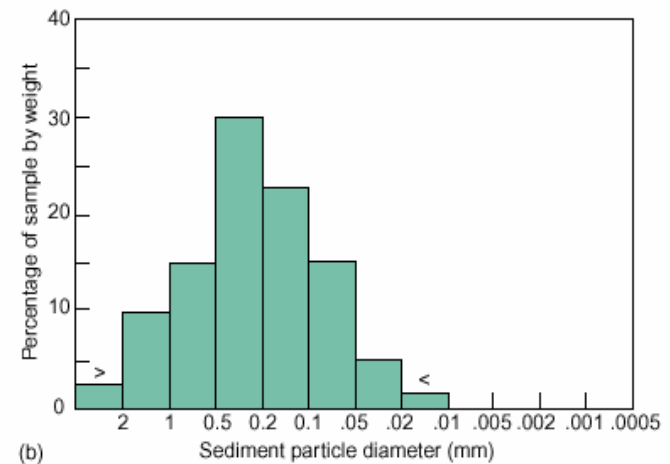
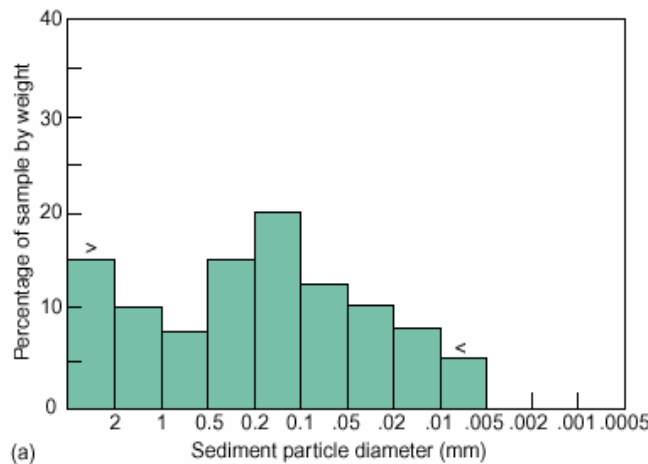
### (一) 岩石类型

碎屑岩按粒度可分为砾岩、砂岩、粉砂岩和泥岩。另外，由火山碎屑物质组成的岩石称为火山碎屑岩(为非正常碎屑岩)。

table 3.1 Sediment Size Classifications.

Descriptive Name		Diameter (mm)	Phi Size <sup>1</sup>	Sinking Rate (cm/s)
<b>Gravel</b>	Boulder	>256	<-8	>4.29 × 10 <sup>6</sup>
	Cobble	64-256	-6 to -8	2.68 × 10 <sup>5</sup> to 4.29 × 10 <sup>6</sup>
	Pebble	4-64	-2 to -6	1.05 × 10 <sup>3</sup> to 2.68 × 10 <sup>5</sup>
	Granule	2-4	-1 to -2	2.62 × 10 <sup>2</sup> to 1.05 × 10 <sup>3</sup>
<b>Sand</b>	Very coarse	1-2	0 to -1	65.5-262
	Coarse	0.5-1	+1 to 0	16.4-65.5
	Medium	0.25-0.5	+2 to +1	4.09-16.4
	Fine	0.125-0.25	+3 to +2	1.02-4.09
	Very fine	0.0625-0.125	+4 to +3	0.256-1.02
<b>Mud</b>	Silt	0.0039-0.0625	+8 to +4	9.96 × 10 <sup>-4</sup> to 2.56 × 10 <sup>-1</sup>
	Clay	<0.0039	>8	<9.96 × 10 <sup>-4</sup>

<sup>1</sup>Phi size = the negative of the power of 2 required to equal the particle diameter in millimeters.





## (二) 支撑形式

碎屑岩的支撑形式一般分为两种类型，

① 颗粒支撑

② 杂基支撑。

但依据其颗粒大小、分布特征和杂基的含量等可分为五类。

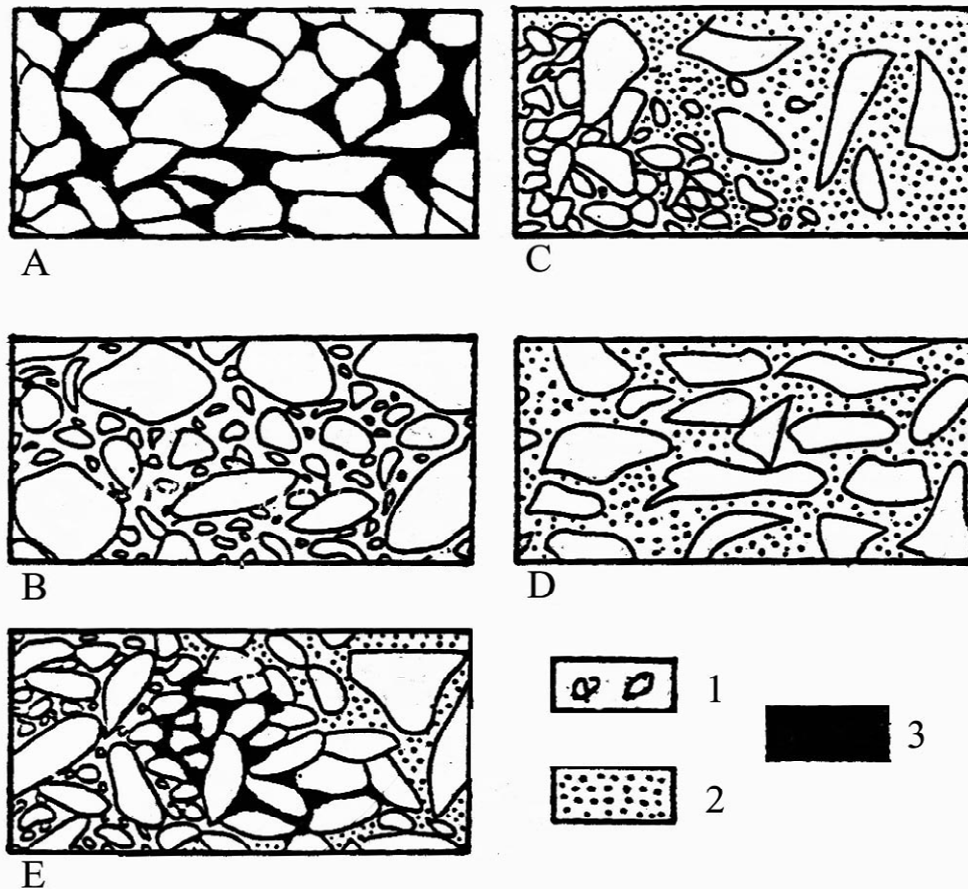


图 2-11 碎屑岩的支撑形式 (据纪友亮, 1996)

A—同级颗粒支撑; B—多级颗粒支撑; C—局部杂基支撑;  
D—杂基支撑; E—混合支撑; 1—粗杂基和孔隙;  
2—细杂基; 3—粗细混合杂基和孔隙



## 第三节 储层的岩石学特征



### (三) 组构特征

碎屑岩包括三种基本组成部分，即碎屑颗粒、填隙物和孔隙，其中碎屑颗粒占岩石总组成的50% 以上。

#### 1. 碎屑组成与砂岩分类

碎屑成分主要为石英 ( $Q$ )、长石 ( $F$ ) 和岩屑 ( $R$ )。

目前国内外碎屑岩一般分为三组分与四组分分类法。

- **三组分法**是以岩石的碎屑成分含量为基础，即以碎屑颗粒的百分含量进行划分；
- **四组分法**是以全岩成分含量为基础，先考虑全岩中杂基的百分含量，再考虑岩石的碎屑颗粒的百分含量进行做图分类，这种划分方法在欧美比较流行。

# 第三节 储层的岩石学特征

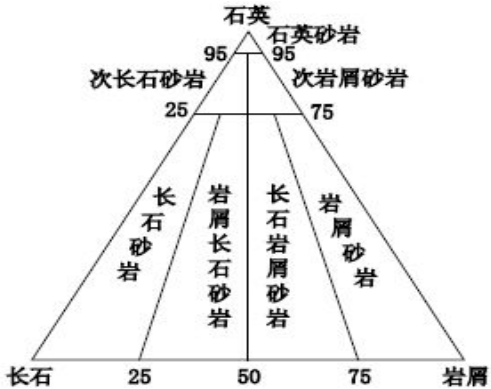
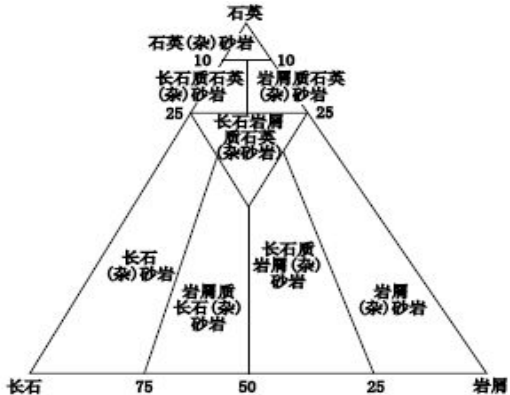
## 表2-10 砂岩分类方案

作者	分类示意图	分类特点
<p>福克 (R. L. Folk) 1954年</p>		<p>强调来源区的母岩类型。</p> <p>Q: 表示沉积来源; M: 表示变质来源。</p>
<p>佩蒂庄 F. J. Pettijohn 1964年</p>		<p>把反映成因的来源区、矿物成熟度及流体性质等因素（介质的密度和粘度）作为砂岩分类的标准。可以反映砂岩的重要成因特征。</p>



# 第三节 储层的岩石学特征

## 表2-10 砂岩分类方案

作者	分类示意图	分类特点
刘宝珺 1982年		这是一种既反映砂岩成因特征（包括母岩性质和搬运史），又考虑成分作用的分类方案。
赵澄林 1996年		能很好反映砂岩成因特征，即搬运磨蚀历史和来源区母岩性质，又保留了传统做法，以长石或岩屑含量大于25%作为长石砂岩类或岩屑砂岩类的分界，便于野外鉴定。



## 第三节 储层的岩石学特征

### (四) 沉积构造

**沉积构造**是指沉积物沉积时或之后由于物理作用、化学作用和生物作用形成的形迹。

#### 1. 物理成因构造

(1) 层理构造: (2) 层面构造: (3) 变形构造:

#### 2. 生物成因构造

主要是生物扰动构造, 其类型很多, 包括各种潜穴、爬迹、栖息迹、植物根迹等。生物扰动会导致储层的层内非均质性。

#### 3. 化学成因构造

常见的有晶体印痕和结核等。



# 第三节 储层的岩石学特征



## (四) 沉积构造

物理成因构造	流动成因构造	层理构造		块状层理、韵律层理、粒序层理、水平层理、平行层理、波状层理、交错层理（板状交错层、槽状交错层理、楔状交错层理、羽状交错层理、丘状或洼状交错层理）
		层面构造/侵蚀成因构造	顶面构造	波痕、剥离线理构造
	底面构造		侵蚀模/槽模、刻蚀模/沟模、铸模（跳模、刷模、锥模）	
	其他侵蚀构造		冲刷充填构造、侵蚀面构造	
	同生变形构造		重荷模构造/负载构造、包卷构造、砂球和砂枕构造、泄水构造（碟状构造）、砂火山/砂墙砂柱构造、滑塌构造	
	暴露成因构造		干裂/泥裂、雨痕、冰雹痕、泡沫痕、流痕	
	化学成因构造		结核、缝合线、叠锥、晶体印痕等	
生物成因构造		生物遗迹、生物扰动、植物根迹构造		



# 第三节 储层的岩石学特征



## 二、火山碎屑岩储层

火山碎屑岩是主要由火山碎屑物质（岩屑、晶屑和玻屑）组成的一种特殊碎屑岩类，具有火山岩和碎屑岩的双重特点（表2-12）。

类型	向熔岩过渡类型	火山碎屑岩类型		向沉积岩过渡类型	
岩类	火山碎屑熔岩类	熔结火山碎屑岩类	火山碎屑岩类	沉火山碎屑岩类	火山碎屑沉积岩类
碎屑相对含量	熔岩基质中分布10% ~ 90%的火山碎屑物	火山碎屑物大于90%其中以塑变碎屑为主	火山碎屑物大于90%，无或很少塑变碎屑	火山碎屑物质占90% ~ 50%，其他为正常沉积物	火山碎屑物质占50% ~ 10%，其他为正常沉积物质
成岩方式	熔浆粘结	熔结和压溶	压积	压积和水化学物胶结	
主要粒级大于100mm	集块熔岩	熔结集块岩	集块岩	沉集块岩	凝灰质巨砾岩
主要粒级100 ~ 2mm	角砾熔岩	熔结角砾岩	火山角砾岩	沉火山角砾岩	凝灰质砾岩
主要粒级小于2mm	凝灰熔岩	熔结凝灰岩	凝灰岩	沉凝灰岩	2 - 0.1mm 凝灰岩砂岩
					0.1 - 0.01mm 凝灰质粉砂岩
					< 0.01mm 凝灰质泥岩



# 第三节 储层的岩石学特征

## 三、碳酸盐岩储层的岩石学特征

### (一) 岩石类型

#### 1、石灰岩

石灰岩的分类方法与方案很多，国外以福克（图2-11）与邓哈姆（表2-13）分类方法为代表，国内学者多借鉴国外形成了一些不同的分类方法，目前比较通用的是冯增昭（1993）出版的《沉积岩石学》中的分类方法（表2-14）。

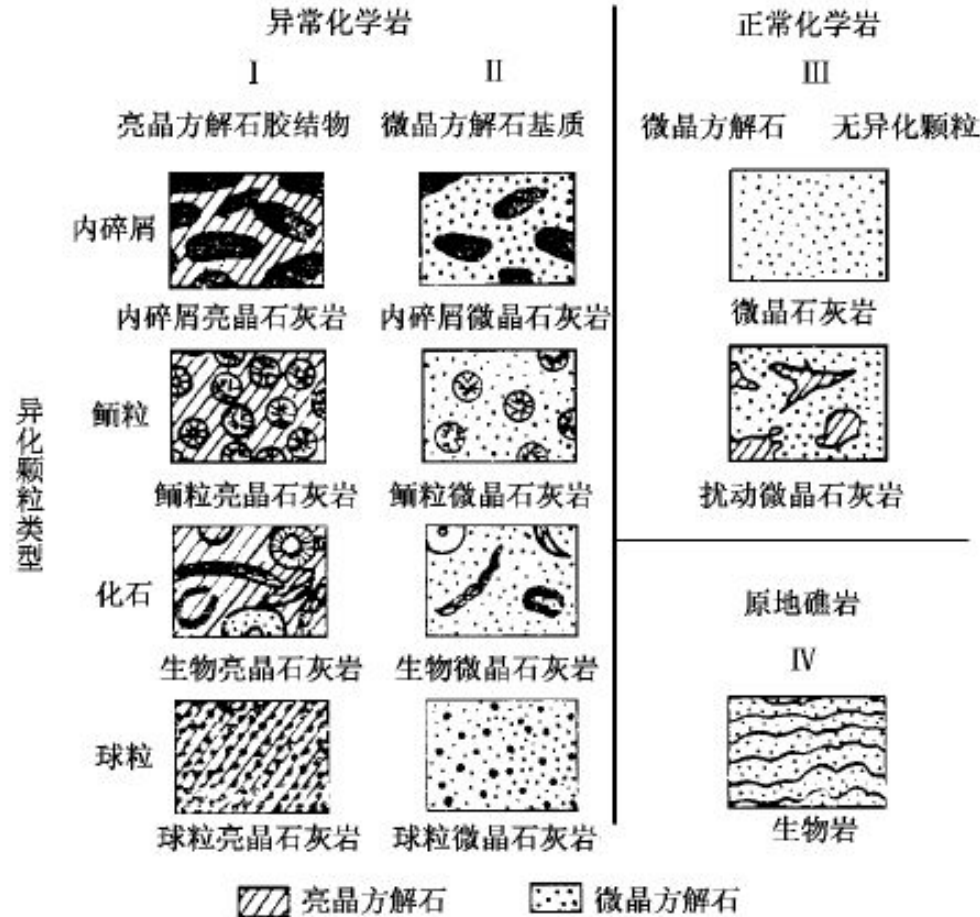
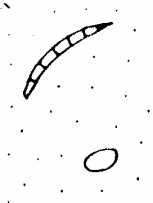
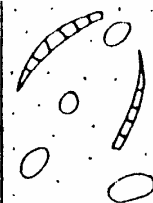
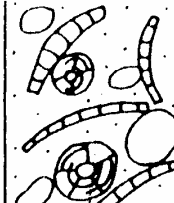
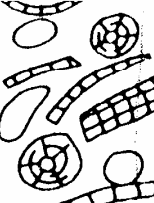
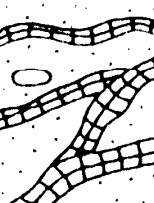
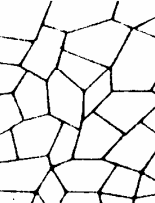


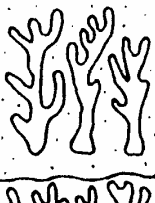
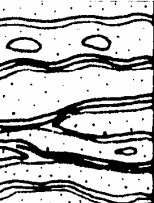


图 2-11 石灰岩的结构分类（据福克，1962）

## (一) 岩石类型

沉积时原始成分中无生物粘结作用			原始组分被粘结在一起	不可识别的沉积结构	原始组分未被有机质粘结		当沉积时原始成分中有生物粘结作用		
含泥晶		无泥晶			>10% 颗粒 > 2mm		生物起障积作用	生物起捕集和粘结作用	生物建造坚固的格架
泥支撑	颗粒支撑				基质支撑	颗粒支撑, >2mm			
颗粒少于10%	颗粒多于10%	泥质颗粒岩	颗粒岩	结晶碳酸盐岩	漂浮岩	灰砾岩	障积岩	粘结岩	格架岩
泥岩	颗粒质泥岩	泥质颗粒岩	颗粒岩	结晶岩	漂浮岩	灰砾岩	障积岩	粘结岩	格架岩
									

石灰岩的结构分类（据邓哈姆，1962）



## (一) 岩石类型

### 2. 白云岩

根据白云岩的生成机理，可把白云岩划分为**原生白云岩**和**次生白云岩**两大类（图2-12）。由地下水的沉淀作用所形成的白云石，是名副其实的原生白云石，但是，这种原生的白云石不能形成一定的地层单位。次生白云岩是指一切非原生沉淀作用生成的白云岩，即一切由交代作用或白云化作用生成的白云岩。

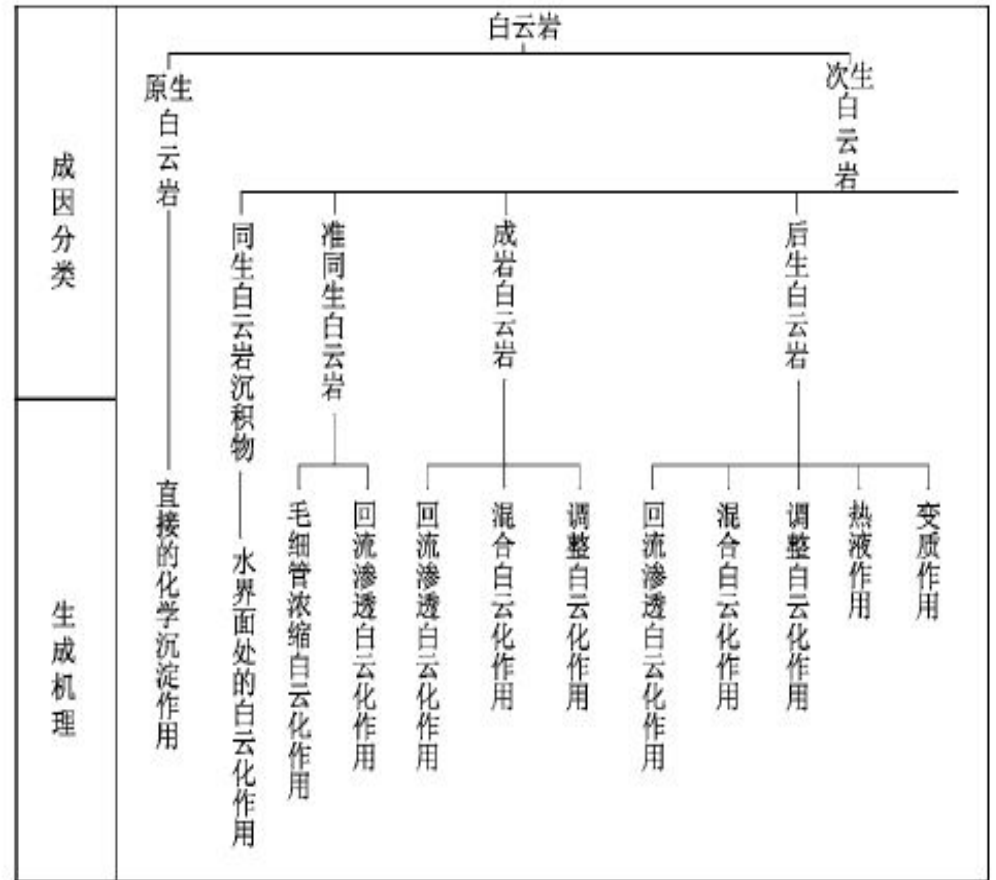


图 2-12 白云岩的成因分类及其相应的成因机理（据冯增昭，1993）



## 第三节 储层的岩石学特征



### (二) 结构组分

碳酸盐岩的结构组分包括**颗粒、泥、胶结物、晶粒、生物格架、孔隙等**。

- **常见的颗粒类型**有内碎屑、鲕粒、生物颗粒、球粒、藻粒、盆外颗粒等；
- **泥**则包括灰泥、云泥、粘土泥等；
- **胶结物类型**有文石、高镁方解石、低镁方解石、蒸发岩、石膏等；
- **晶粒**主要是组成白云岩的结构组分，亦是结晶石灰岩的结构组分；
- **生物格架**主要是由造礁生物胶结的结构组分。





## 第三节 储层的岩石学特征

### (三) 沉积构造

碳酸盐岩的沉积构造除具有碎屑岩沉积构造的所有类型之外，还有其**特有的构造**，如（表2-15）：

叠层石构造

示顶底构造

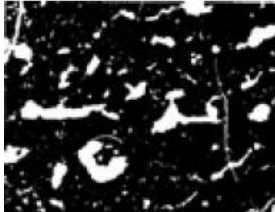
鸟眼构造

缝合线构造

虫孔及虫迹构造



# 第三节 储层的岩石学特征

类别	特征	形成环境	意义	图例
叠层石构造	层状和柱状，富藻纹层和富碳酸盐纹层	潮间及潮下带产物	判断沉积环境	
示顶底构造	孔隙下部为泥晶或粉晶方解石，色较暗，上部为亮晶方解石，色浅且多呈白色。二者界面平直	孔隙中的淋滤沉淀	判断岩层顶底	
鸟眼构造	形如鸟眼状，1~3mm大小。定向排列，多为方解石或硬石膏充填的孔隙	潮上带	判断沉积环境	
缝合线构造	波状、锯齿状、指状、并且其上下对应部分吻合的一种裂缝构造	成岩过程中压溶作用的产物	纵向波幅反映物质损失的最小厚度	
虫孔及虫迹构造	生物穿孔、潜穴或爬行的痕迹	生物的生活活动所造成的一种洞穴、孔穴、管穴构造	指示生物特征及其活动情况，环境分析标志	



## 第三节 储层的岩石学特征



### (一) 岩浆岩

#### 1. 定义

岩浆岩是岩浆侵入地壳或喷出地表经冷却固结而成的岩石，又称火成岩。

#### 2. 分类

岩浆岩储层的岩石类型比较多，既有喷出岩，又有侵入岩，侵入岩又分深成岩与浅成岩。从超基性岩到酸性岩，暗色矿物含量逐渐减少，浅色矿物逐渐增多，故岩石颜色逐渐由深变浅，岩石比重逐渐由大变小。

岩石产状分为深成岩、浅成岩和喷出岩，岩石的主要结构和构造指示岩石的生成条件。



### 四、其他岩类储层的岩石学特征

#### (一) 岩浆岩

##### 1、喷出岩

喷出岩包括玄武岩、安山岩、流纹岩等。

- **玄武岩**为基性喷出岩，是我国分布最广的火山熔岩储层岩，一般呈灰色、灰黑色、灰绿色等。
- **安山岩**为中性喷出岩，是我国仅次于玄武岩的火成岩储层岩性，呈深灰色、灰绿色、灰褐色、棕红色等。
- **流纹岩**呈浅灰色，多具流纹构造、球状构造，基质为玻璃质结构、隐晶结构，斑晶为透长石、石英等，基质由长石、石英、玻璃质等组成。

##### 2、侵入岩

**侵入岩**是岩浆侵入地壳内冷凝而成的火成岩。由于冷却速度较慢，常为结晶质岩石。按照侵入岩依其侵入地壳中的部位深浅，分为深成岩（大于3km），浅成岩（1.5~3km）和超浅成岩（0.5~1.5km）。



## 第三节 储层的岩石学特征



### (二) 变质岩

#### 1、定义

在变质作用条件下，使地壳中已经存在的岩石（可以是火成岩、沉积岩及早已形成的变质岩）变成具有新的矿物组合及结构、构造等特征的岩石，称为变质岩。

#### 2、分类

因变质作用的因素和方式不同，可将变质岩分为五种类型：**动力变质岩类、接触变质岩类、区域变质岩类、混合岩类和交代变质岩类**。每一种岩类又根据原岩成分或变质后的成分含量进行细分（表2-17）。



# 第三节 储层的岩石学特征



成因类型		主要岩类
动力 变质	脆性变形	碎裂的 构造角砾岩、碎裂岩、碎斑岩、碎粒岩
	塑性变形	糜棱的 糜棱岩、超糜棱岩、千枚糜棱岩、糜棱千枚岩、糜棱片岩、片岩
		次显微颗粒或玻璃 玻状岩、假熔岩
接触 变质	长英质变质岩类	长英质角岩、石英岩、长石石英岩
	泥质变质岩类	斑点板岩、云母角岩、片岩
	碳酸盐变质岩类	大理岩、钙质角岩
	基性、钙质变质岩类	基性角岩、镁质角岩
区域 变质	斜长片麻岩—变粒岩—石英岩类（长英质变质岩）	变质砂岩、变质粉砂岩、砂质板岩、片理化硬砂岩、变质流纹岩、英安岩及凝灰岩、石英片岩、片麻岩、石英岩、长石石英岩、浅粒岩、变粒岩
	千枚岩—云母片岩类（泥质变质岩）	板岩、千枚岩、云母片岩
	大理石—钙镁硅酸盐岩类（钙镁质变质岩）	大理岩、钙质千枚岩、钙镁硅酸盐变粒岩、钙质片麻岩、辉闪斜长变粒岩
	绿片岩—斜长角闪岩类（基性变质岩）	绿泥石片岩、阳起石片岩、角闪岩、角闪变粒岩、角闪石英片岩、角闪片岩、紫苏麻粒岩、角闪二辉麻粒岩、榴辉岩、榴闪岩
	滑石—蛇纹石片岩类（镁质变质岩）	蛇纹石片岩、滑石片岩、滑菱片岩、直闪绿泥片岩、角闪石岩、直闪片岩、榴闪片岩、辉石岩、角闪石岩、橄榄石岩



### 第三节 储层的岩石学特征



续表

	成因类型	主要岩类
混合岩类	脉体含量小于15%	混合岩化的变质岩
	脉体含量15%~50%	混合岩类
	脉体含量50%~85%	混合片麻岩
	脉体含量大于85%	混合花岗岩
交代变质	超基性岩的交代变质岩	蛇纹岩
	中基性岩的交代变质岩	青磐岩
	中酸性岩的交代变质岩	云英岩、黄铁绢英岩、次生石英岩
	碳酸盐岩的交代变质岩	矽卡岩



## 第三节 储层的岩石学特征

### (三) 泥质岩

泥岩的孔隙很小，属微毛细管孔隙，有效孔隙几乎为零，基本属无效孔隙，故常作为油气盖层。

另外，若泥质岩中含可溶性物质，经地下水溶蚀还可形成溶孔、溶洞，因此泥质岩也可形成储层。





# 思考题



- 1、储层基本要素与其核心内涵？
- 2、何谓储层的孔隙度、渗透率、饱和度，三者之间的关系？
- 3、影响渗透率的因素？
- 4、砂体的平面几何形态和空间叠置方式，以及所反映的沉积环境？
- 5、碎屑岩及碳酸盐岩的岩石类型及特征？
- 6、碎屑岩的岩石结构对储层物性的影响？
- 7、火山岩储层的岩石类型及特征？
- 8、变质岩储层的岩石类型及特征？