



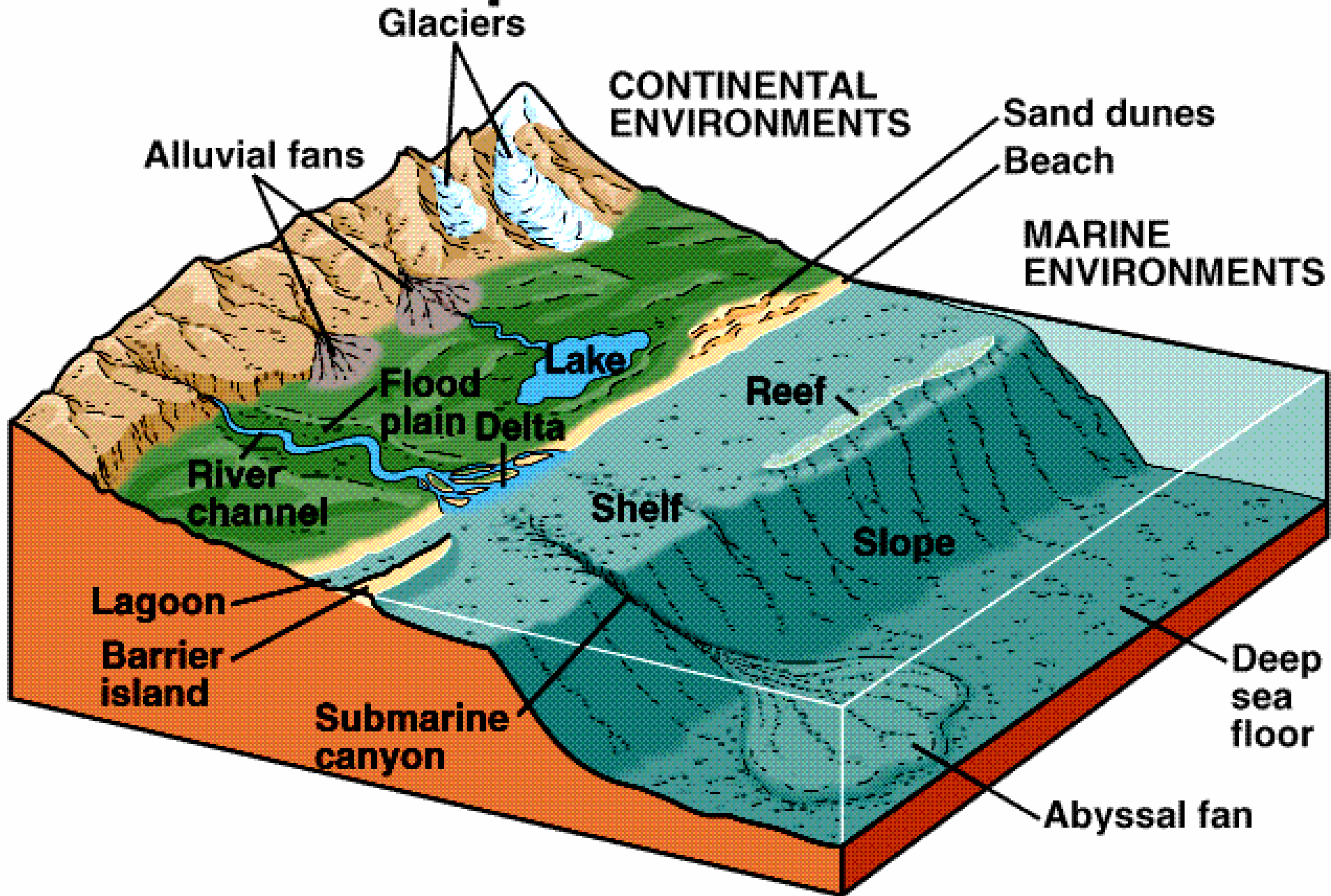
## 第四节 砂岩及粉砂岩

( Sandstones and siltstones )



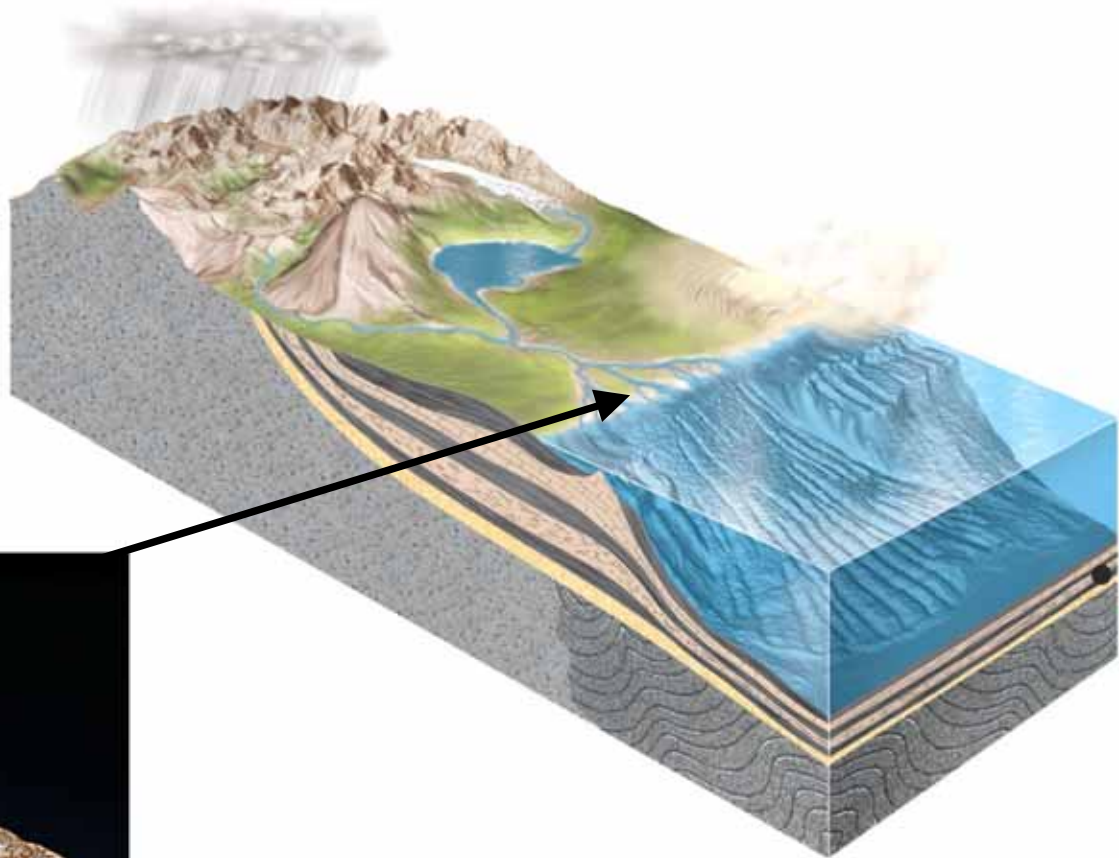


# Common Deposition Environments





# Sand





# 一、砂岩的一般特征 ( General characteristics )

## (一) 基本概念

砂岩：砂级碎屑 ( 2 ~ 0.1mm ) 含量 > 50% 的碎屑岩。







# Sandstone



Primary quartz grains ( original sediment ) cemented  
with calcium carbonate matrix



## (二) 砂岩的一般特点

(1) 碎屑成分较为复杂，以轻矿物为主，重矿物 $<1\%$ 。

(2) 砂级碎屑以Q为主，其次是F和R，有时含云母和绿泥石等。

(3) 结构上，由砂级碎屑、基质和胶结物、孔隙组成。

(4) 化学成分极不一致，取决于碎屑组分和胶结成分。与岩浆岩相比，砂岩中 $\text{SiO}_2$ 含量很高，而 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 大为减少。





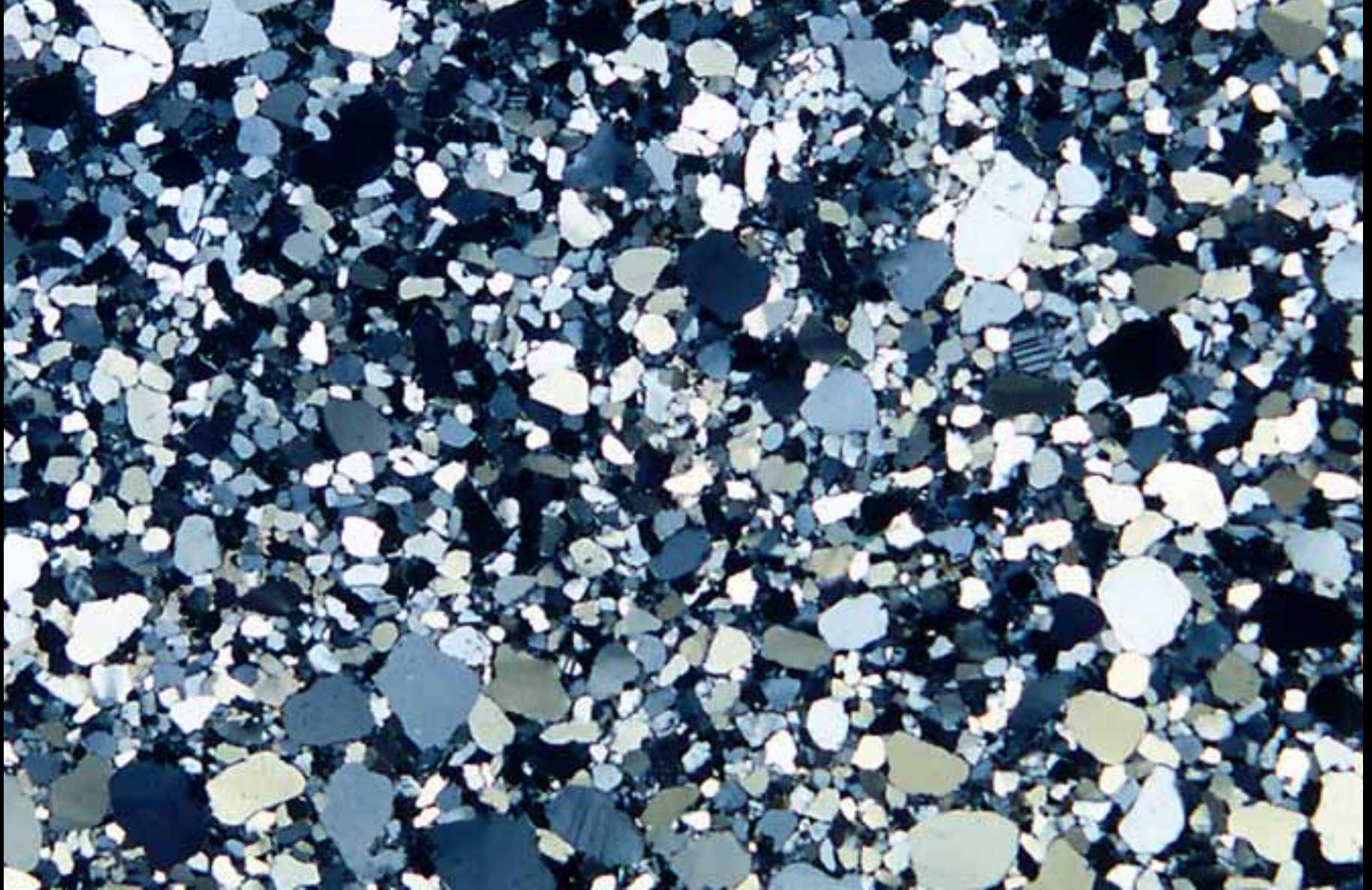
## 成熟度的标志：

① **QFR指数**：石英与长石加岩屑之比

② **ZTR指数**：锆石（Zircon）、电气石

（Tourmaline）和金红石（Rutile）三种矿物

占透明矿物的百分含量。





## 二、砂岩的分类

### (一) 砂岩结构分类与命名

沉积学家们通常将砂划分为：

- 粗砂 ( 2 ~ 0.5mm )
- 中砂 ( 0.5 ~ 0.25mm )
- 细砂 ( 0.25 ~ 0.1 )

根据**三级命名**的原则命名。

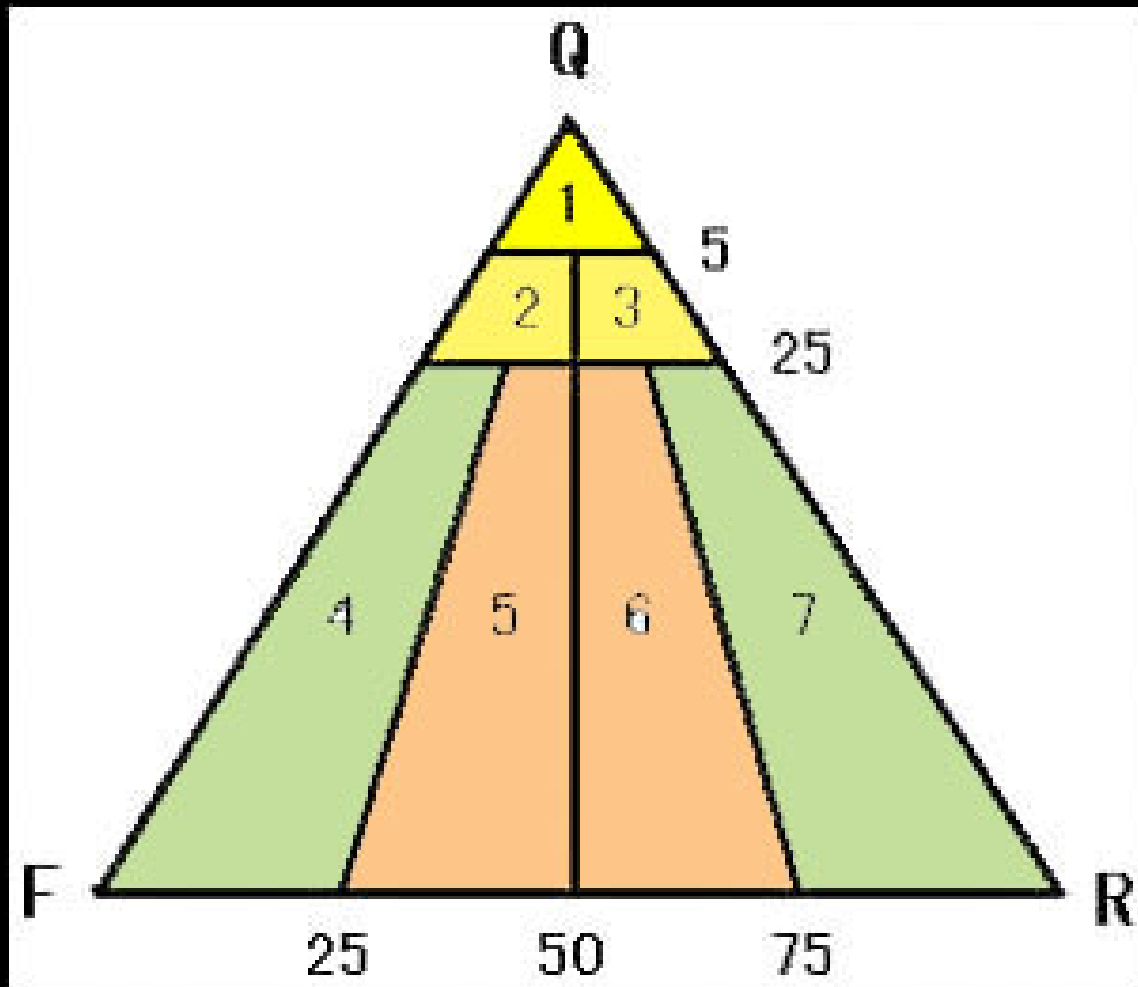




## (二) 砂岩成分—成因分类

最早的砂岩分类是1904年由葛利普 (Grabau) 提出的。然而, 为现代砂岩分类方案奠定基础的却是克里宁 (Krynine, 1948)。

目前砂岩分类普遍采用福克 (Folk, 1968) 三角形图解。



福克 (Folk) 的砂岩分类三单元图解



就分类依据的组分而言，概括起来，可大致分为三组分和四组分两种体系。

## 1. 三组分体系

主要是根据砂岩的三种砂级碎屑组分，如 Q、F、R，对砂岩进行分类。如克里宁（1941，1948）、福克（Folk，1954，1968）、麦克布赖德（Mcbride，1963）等以及前苏联的一些分类。



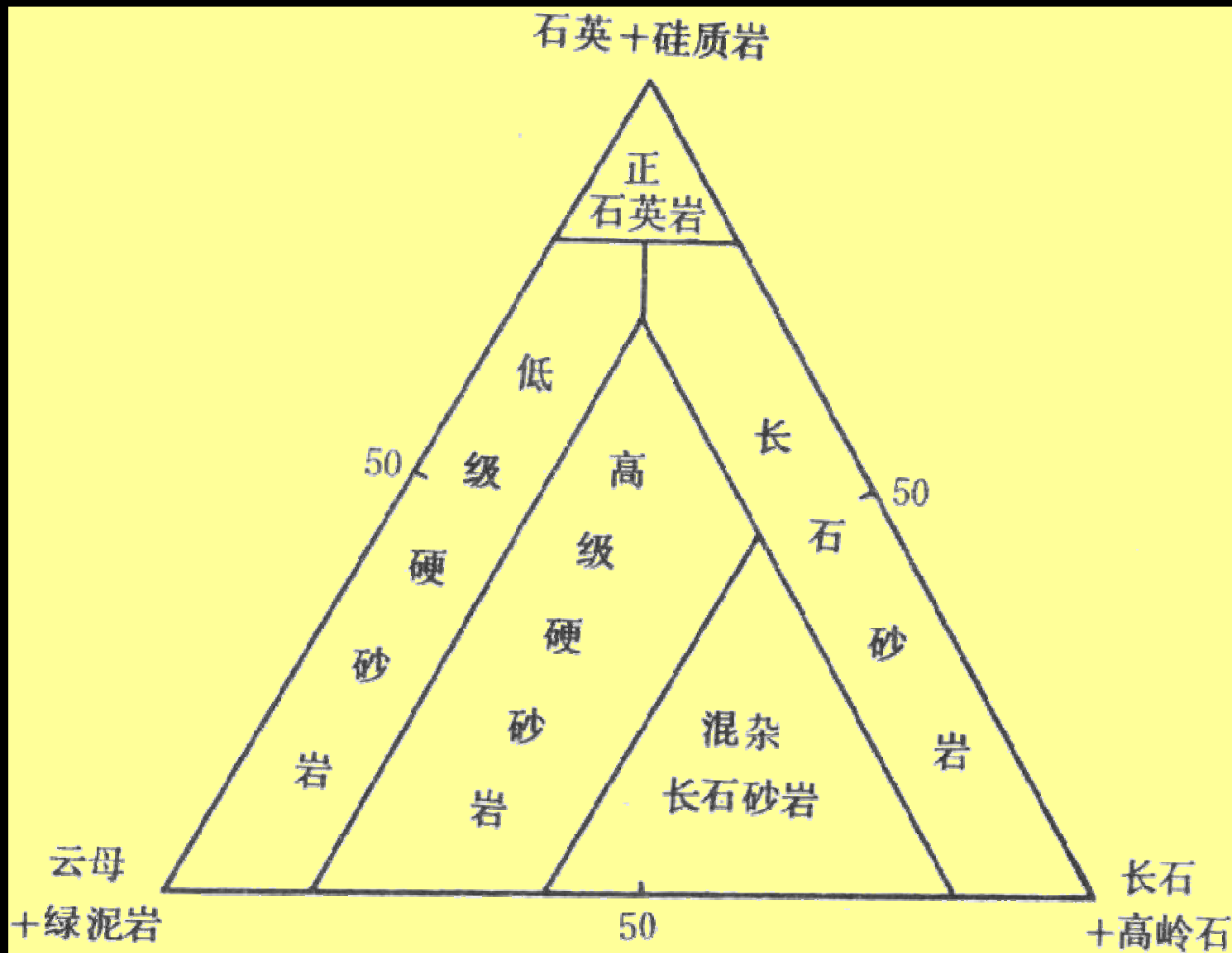


## (1) 克里宁 (1948) 的分类

以**来源区**和**构造变动**为分类准则

- **石英+硅质岩屑**—代表岩石成熟度
- **长石+高岭石**—代表母岩性质
- **云母+绿泥石**—表示构造变动强度

**缺点**：云母和绿泥石常常是在成岩和后生阶段由粘土矿物转变而成的，并非原生陆源物质。



克里宁的砂岩分类方案，1948

## (2) 福克的分类

福克 (1948) 早期分类强调来源区的**母岩**

类型：

●石英 + 硅质岩

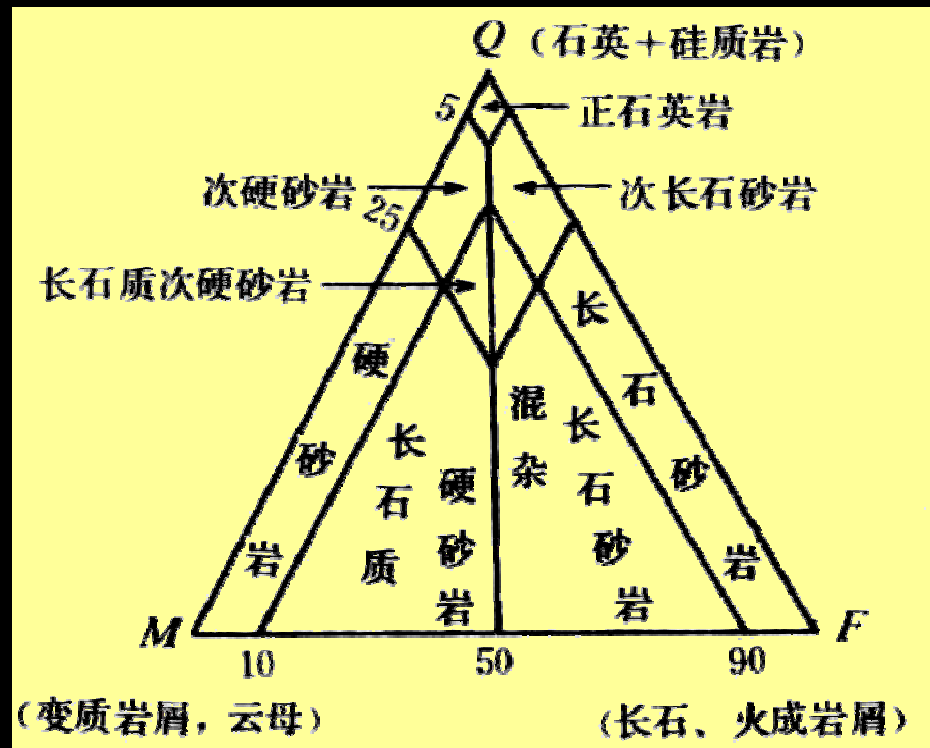
(Q) —表示沉积来源

●长石 + 火成岩屑

(F) —表示火成来源

●云母 + 变质岩屑

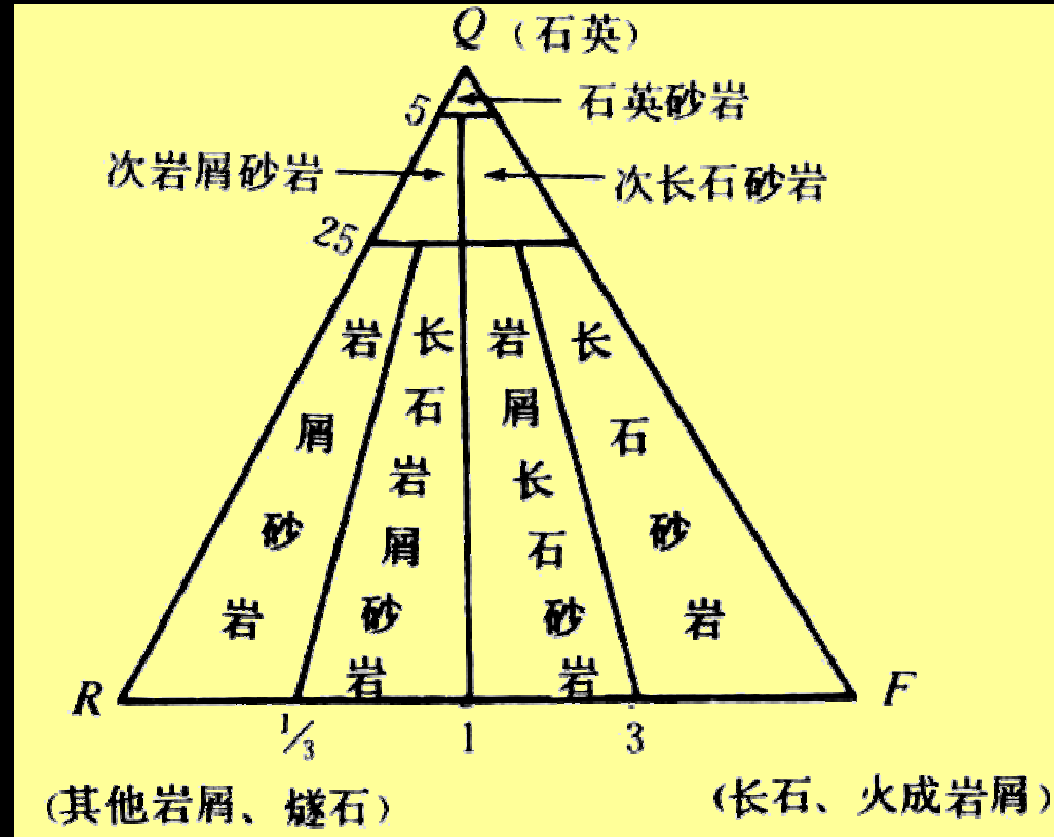
(M) —表示变质来源



福克1948年分类



1968年的分类  
则偏重于**母岩类型**  
和**矿物成熟度**两个  
因素，端元组分的  
选择、分类界限和  
岩石名称的确定都  
有较大的变动。



福克1968年分类

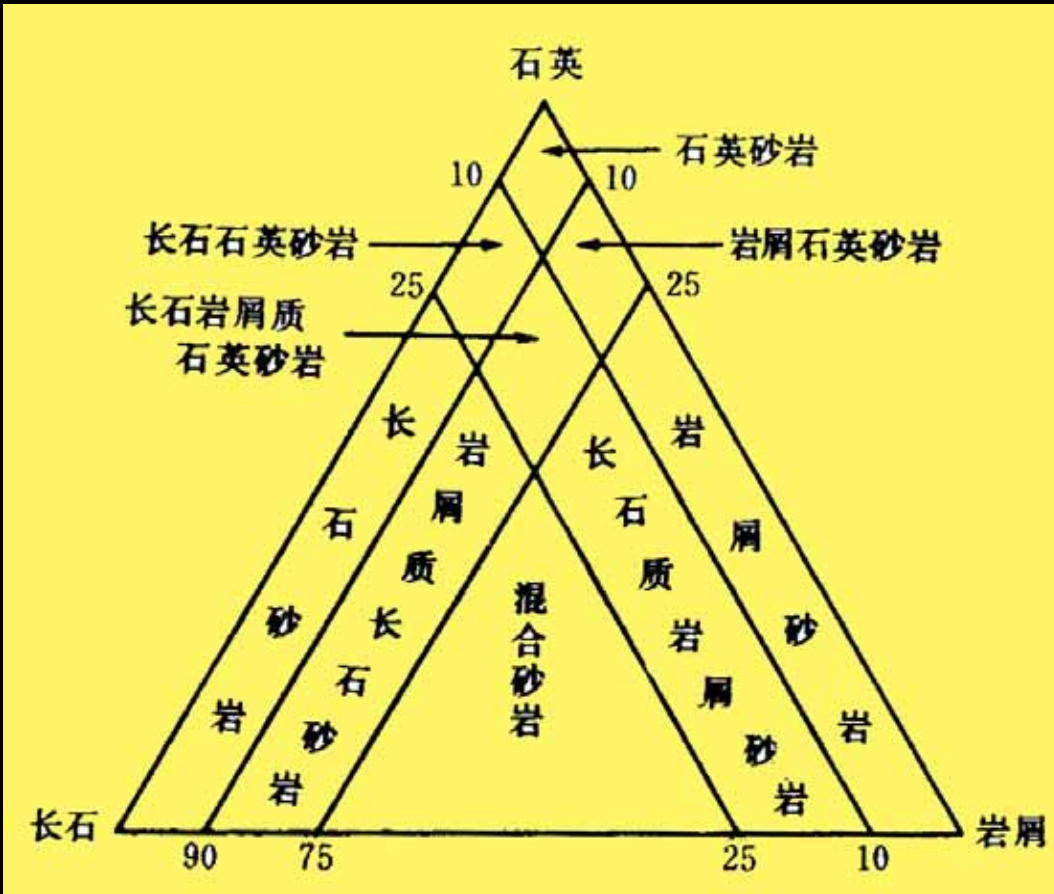
缺点：

- (1) 把云母看成都是变质成因的；
- (2) 把岩屑分成火成及其他两类，复杂化



### (3) 原北京石油学院 (1965、1977) 分类

三端元：石英（包括少量脉石英）、长石、岩屑+碎屑云母。



该分类简单方便，但石英砂岩中各亚类的石英含量普遍偏低，混合砂岩的提出混淆了本来可以明确的源区母岩性质。



## 2. 四组分体系

除了考虑碎屑成分外，还把粘土基质作为一个组分，引入到砂岩分类中来，如裴蒂庄（Pettijohn, 1949, 1954, 1975）、吉尔伯特（Gilbert, 1955）和岗田博有（Okada, 1971, 1972）等的分类。



(1) Gilbert (1955) 的砂岩分类是四组分  
体系中较早期的代表之一

粘土基质 $>10\%$ 的，分选不好的混杂砂岩——  
杂砂岩 (wacke)

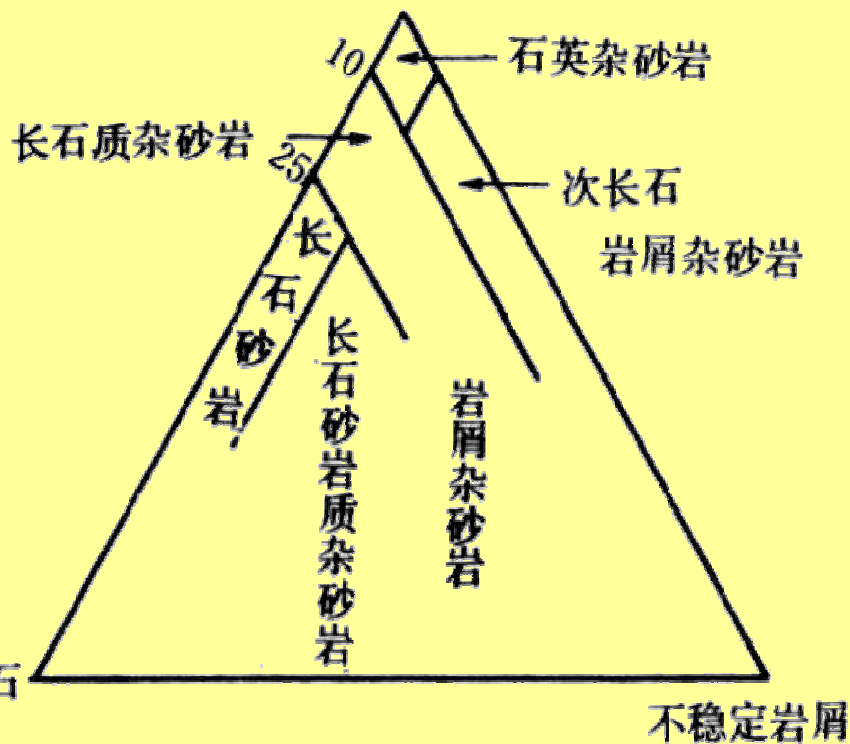
粘土基质 $<10\%$ 的，分选良好的纯净砂岩——  
砂屑岩 (arenite)

缺点：某些砂岩类型在图解中没有明确的  
划分界线

首先划分为**杂砂岩**（粘土基质 $>10\%$ ）和**砂屑岩**（粘土基质 $<10\%$ ），再进行三端元划分。

### 杂砂岩

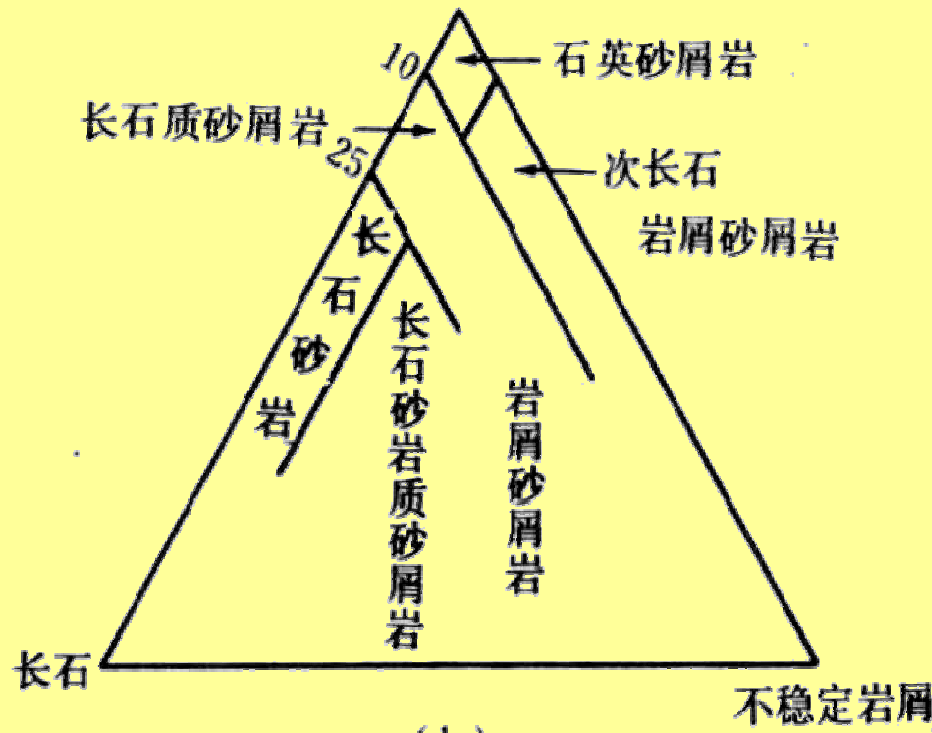
石英+燧石+石英岩



(a)

### 砂屑岩

石英+燧石+石英岩



(b)

吉尔伯特 (Gilbert, 1955) 的砂岩分类方案





## (2) Pettijohn (1975) 的分类

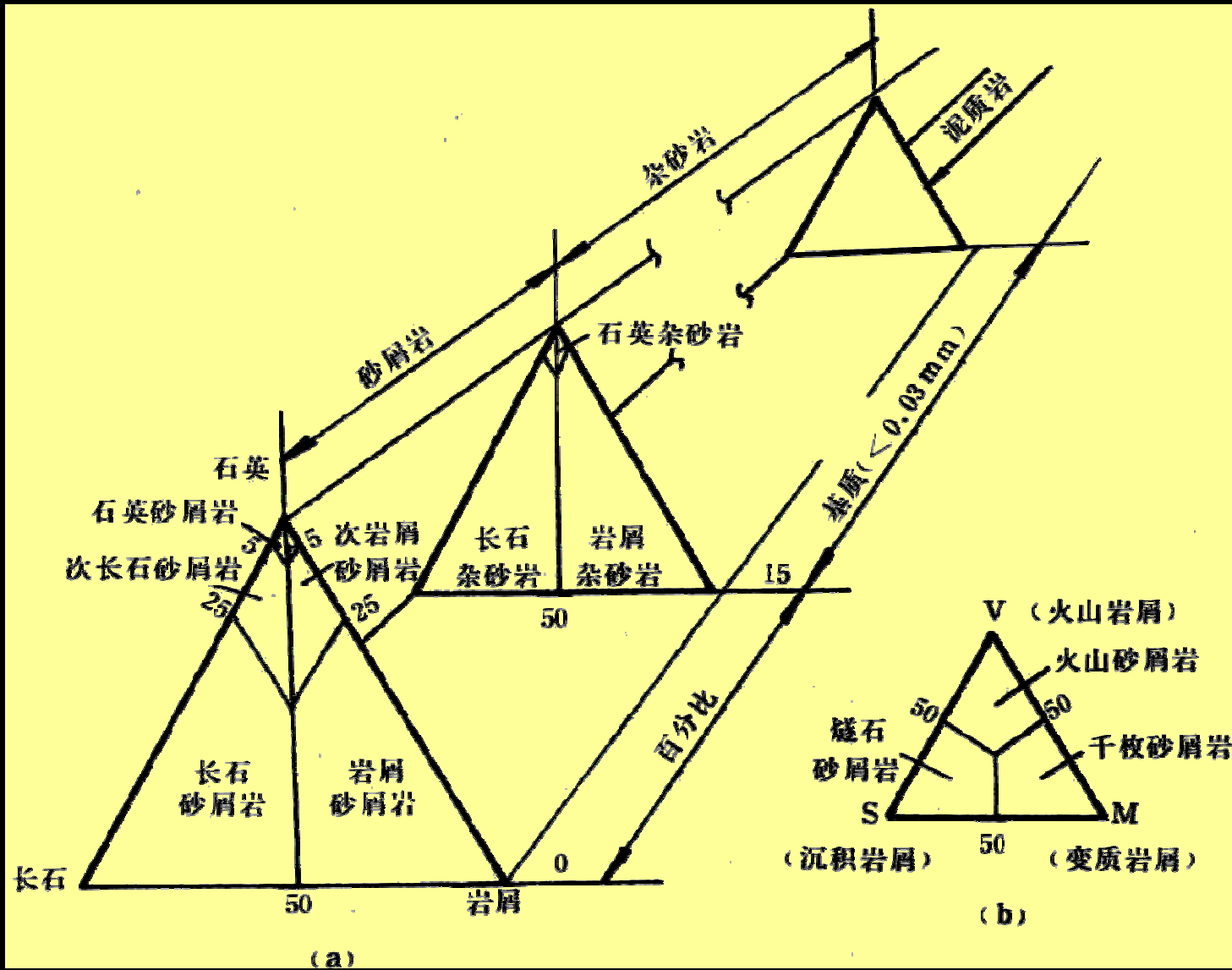
该分类把反映成因的**来源区**、**矿物成熟度**及**流动因素**（介质的密度和粘度）作为砂岩分类的准则。

首先把砂岩分为两大类：

**砂屑岩**：基质 $<15\%$

**杂砂岩**： $15\% < \text{基质} < 75\%$

然后再以砂岩的主要碎屑组分石英（Q）、长石（F）、岩屑（R）为三个端元，进一步分类和命名。



Pettjohn (1975) 的砂岩分类方案



### 3. 主要问题

(1) 粘土基质的处理：当分类组分还是当泥质胶结物

(2) 端元组分的组合方式：不同组合方式中成分相同成因不同

(3) 三角图解的形式及其划分：三角图解内的分类界限有分歧

(4) 辅助三角图的采用：是否采用辅助三角图

(5) 关于硬砂岩：硬砂岩含义混乱



## (三) 建议的分类

### 1. 分类的原则和依据

- (1) 应当兼顾**描述**和**成因**两个方面。
- (2) 原则：首先选择在客观上能够鉴定而又最能联系岩石成因的特征作为分类依据，应适当考虑分类方案既适用于野外工作，又适用于室内研究。
- (3) 砂岩的分类应当反映岩石生成的三个主要问题，即：**①**来源区**母岩性质**；**②**搬运和磨蚀的历史，即岩石的**成熟度**；**③**沉积时**介质**的物理条件，即流动因素。





从具体标志来说，可选择砂岩中**石英**、**长石**、**岩屑**和**粘土基质**四种组分作为分类依据。

**不稳定组分**可以反映物质来源，可以反映出来源区母岩组合的基本特征。

搬运和磨蚀的历史可以通过稳定组分和不稳定组分的相对量比（**矿物成熟度**）来表示。

介质的物理条件（密度和粘度）可用**碎屑与基质比值**（ $C/M$ ，流动指数）来表示。



## 2.本书的砂岩分类

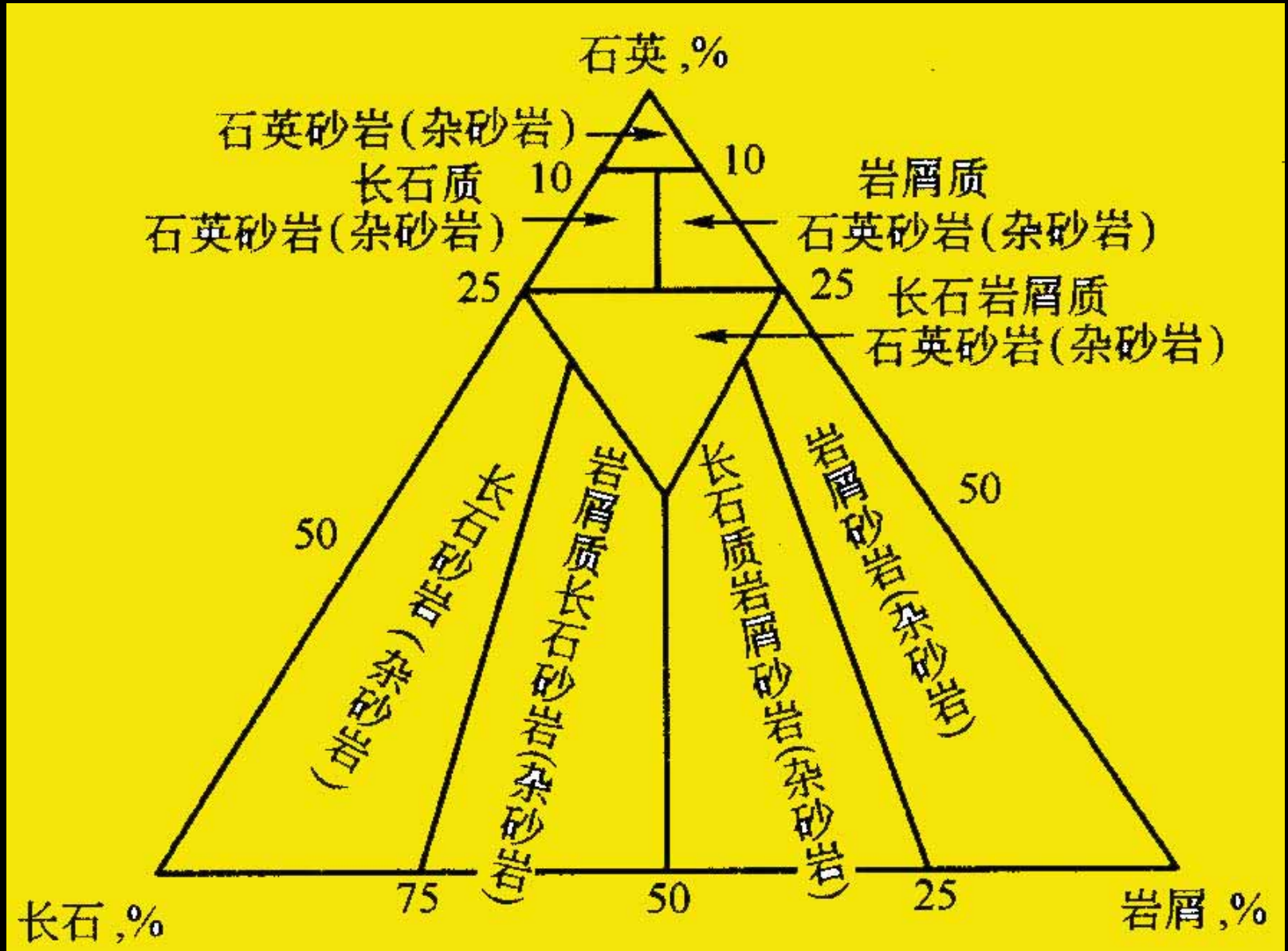
(1) 首先按基质含量将砂岩分为：

砂岩：基质 $<15\%$

杂砂岩：50%  $>$ 基质 $>15\%$

泥质岩：基质 50%

(2) 对砂岩和杂砂岩进行三角图解三端元分类：石英(Q)、长石(F)、岩屑(R)的相对含量进行划分，其中R包括燧石、硅质岩屑和花岗质岩石在内的各种岩屑以及碎屑状云母及绿泥石。



信荃麟 (1982) 分类



(3) 对于富长石特别是富岩屑的砂岩，可采用**辅助三角图解**，辅助三角图解的三个端元组分可根据具体情况灵活选择。

(4) 当砂岩中含有次要矿物和特殊矿物时，可采用**附加定名**，如海绿石石英砂岩，其综合定名格式为：

**颜色+特征矿物+胶结物成分+结构（粒级类型）+岩石基本名称。**

如：紫红色铁质胶结中—细粒石英砂岩  
灰绿色含海绿石中粒石英砂岩





某砂岩薄片鉴定资料如下：碎屑颗粒（91%）：石英62%，微斜长石18%，钠长石8%，燧石2%，脉石英3%，变质岩岩屑2%，沉积岩岩屑3%，岩浆岩岩屑2%；填隙物（9%）：为陆源粘土矿物。该岩石命名为：

\_\_\_\_\_。



某砂岩薄片鉴定资料如下：碎屑颗粒中石英91%、脉石英2%、粘土岩岩屑3%、燧石4%，杂基（1%）为陆源粘土，胶结物（10%）主要为硅质，有极少量赤铁矿。该岩石命名为：\_\_\_\_\_。



## 三角图投点：

数据点较少时，可按以下步骤确定砂岩在教材推荐方案中的类型：

1. 将数据换算成 $Q+F+R=100\%$ ；
2. 如果 $Q>90\%$ ，则为石英（杂）砂岩；
3. 如果 $90\%>Q>75\%$ ，根据F与R的相对多少来确定是长石质石英（杂）砂岩还是岩屑质石英（杂）砂岩；

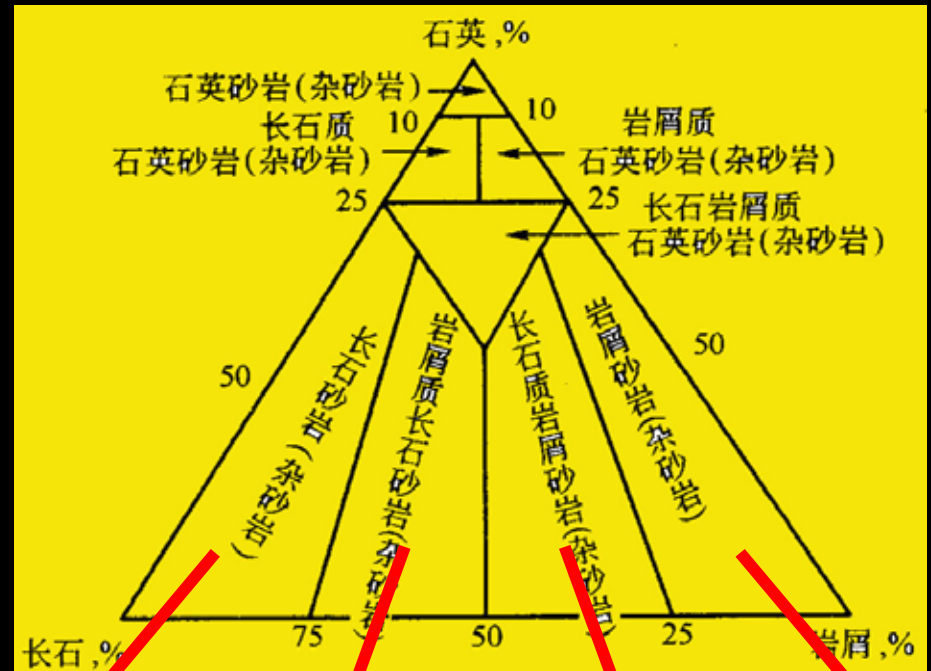


4. 如果  $75\% > Q > 50\%$  :

(1) 如果满足  $F < 25\%$  且  $R < 25\%$  , 根据  $F$  与  $R$  的相对多少来确定是长石岩屑质石英 (杂) 砂岩还是岩屑长石质石英 (杂) 砂岩 ;

(2) 如果  $F > 25\%$  或  $R > 25\%$  , 则用  $F / (F + R)$  确定。

5. 如果  $Q < 50\%$  , 仍用  $F / (F + R)$  确定。



$F / (F + R) : 1 \sim 0.75, 0.75 \sim 0.5, 0.5 \sim 0.25, 0.25 \sim 0$





## 三角图投点：

数据点较多时，人工投点相当繁琐，容易出错，利用Excel投点简单、方便、准确。

### 参考文章

- 张萌、黄思静、冯文新等. 巧解砂岩分类三角图. 成都理工大学学报（自然科学版），2005，32（4）：423~439
- 黄思静、黄喻. 用MicrosoftExcel在砂岩的三角分类图上完成碎屑成分投点. 成都理工学院学报，2002，29（2）：213~216



## 三、石英砂岩类

### (一) 主要类型 (Main types)

#### 1. 石英砂岩 (Quartz sandstones)

(1) 石英碎屑  $>90\%$ ，含少量长石和燧石等岩屑，重矿物含量极少。

(2) 石英大都为单晶石英，磨圆好，分选好，缺少泥质。

(3) 几乎所有的石英都含有包裹体。



(4) 长石主要是微斜长石、正长石和钠长石。

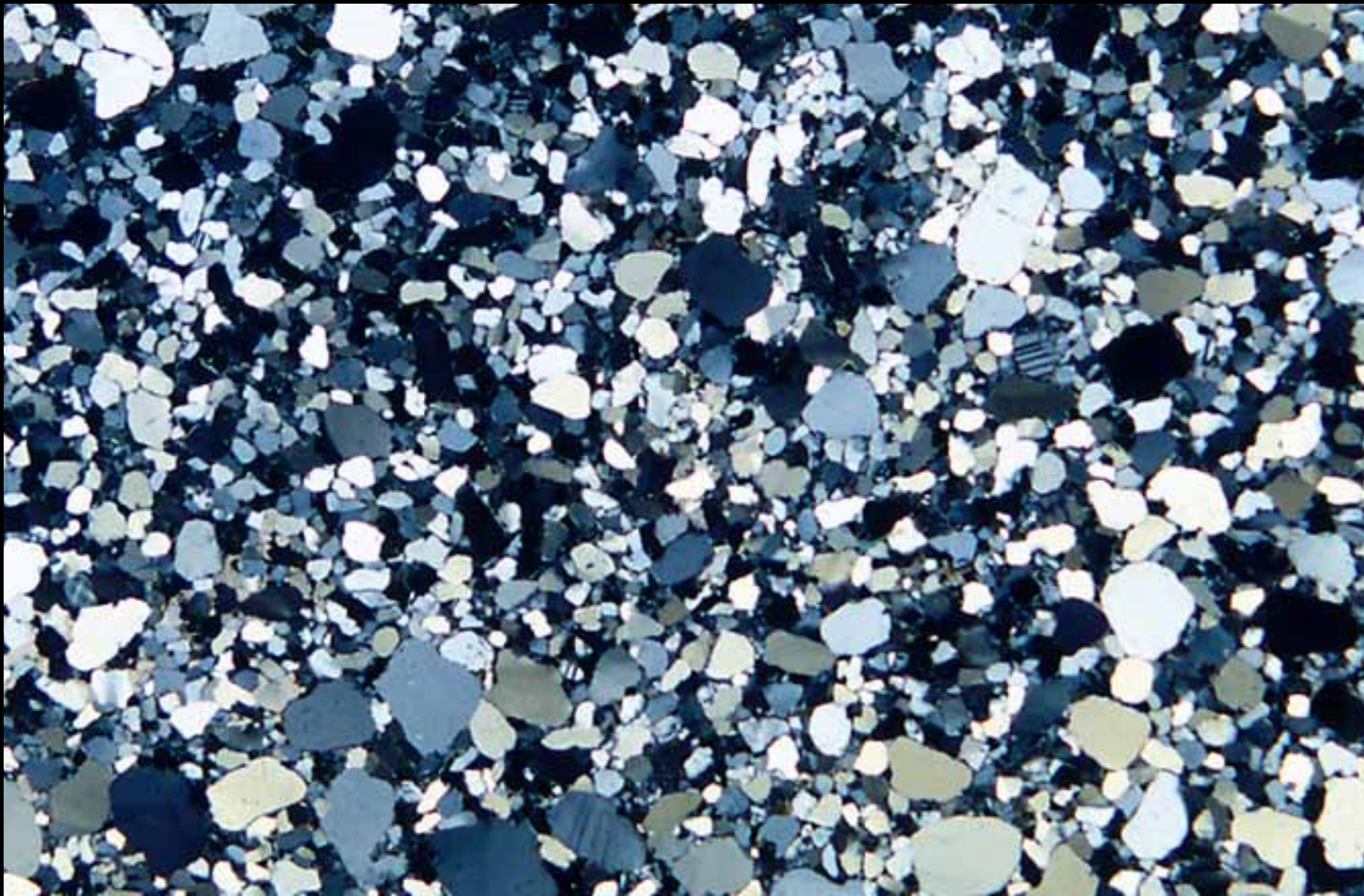
(5) 岩屑可能只包含少量磨蚀好的燧石和石英岩等。

(6) 胶结物大多为硅质，次为钙质、铁质及海绿石等。

(7) 化学成分： $\text{SiO}_2$ 含量高，可达99%，甚至更高。

(8) 颜色：大多为灰白色，有些略带浅红、浅黄、浅绿等色调，主要取决于胶结物的颜色。

(9) 沉积构造：波痕、交错层理。







## 2. 长石质石英砂岩

$Q=75\sim 90\%$  ,  $F>R$  ,  $F=5\sim 25\%$  ,  $R<15\%$ 。

## 3. 岩屑质石英砂岩

$Q=75\sim 90\%$  ,  $R>F$  ,  $R=5\sim 25\%$  ,  $F<15\%$ 。

## 4. 长石岩屑质石英砂岩

$Q=50\sim 75\%$  ,  $F<25\%$  ,  $R<25\%$  , 成分较复

杂。



## (二) 成因 (Origin)

石英砂岩属高度成熟砂岩，是风化、分选和磨蚀等作用持久和深化的产物。其产出需要**稳定的大地构造条件和砂的多旋回沉积作用**。

石英砂岩主要发育在稳定的地台区，标志着稳定的大地构造环境、基准面的夷平作用以及长期的风化作用。

多数人认为石英砂岩不可能直接来源于花岗岩的风化，而是来自于先前存在的砂岩，也就是说，它们是**长期、多次再沉积**的结果。

石英砂岩主要产于**海洋环境**。





## 四、长石砂岩类

### (一) 主要类型 (Main types)

#### 1. 长石砂岩 (Arkose sandstones)

(1) 主要由石英和长石组成， $Q < 75\%$ ， $F > 25\%$ ， $R < 25\%$ 。

(2) 石英颗粒一般不规则，磨圆度差，有较多的多晶石英。



(3) 长石含量高， $F > 25\%$ ，以钾长石和酸性斜长石为常见。

(4) 含有大量云母碎屑，白云母和黑云母都常见，含量高达10%以上。

(5) 岩屑在长石砂岩中通常作为附属成分。

(6) 重矿物一般比石英砂岩类含量高，可达1%，成分较复杂。

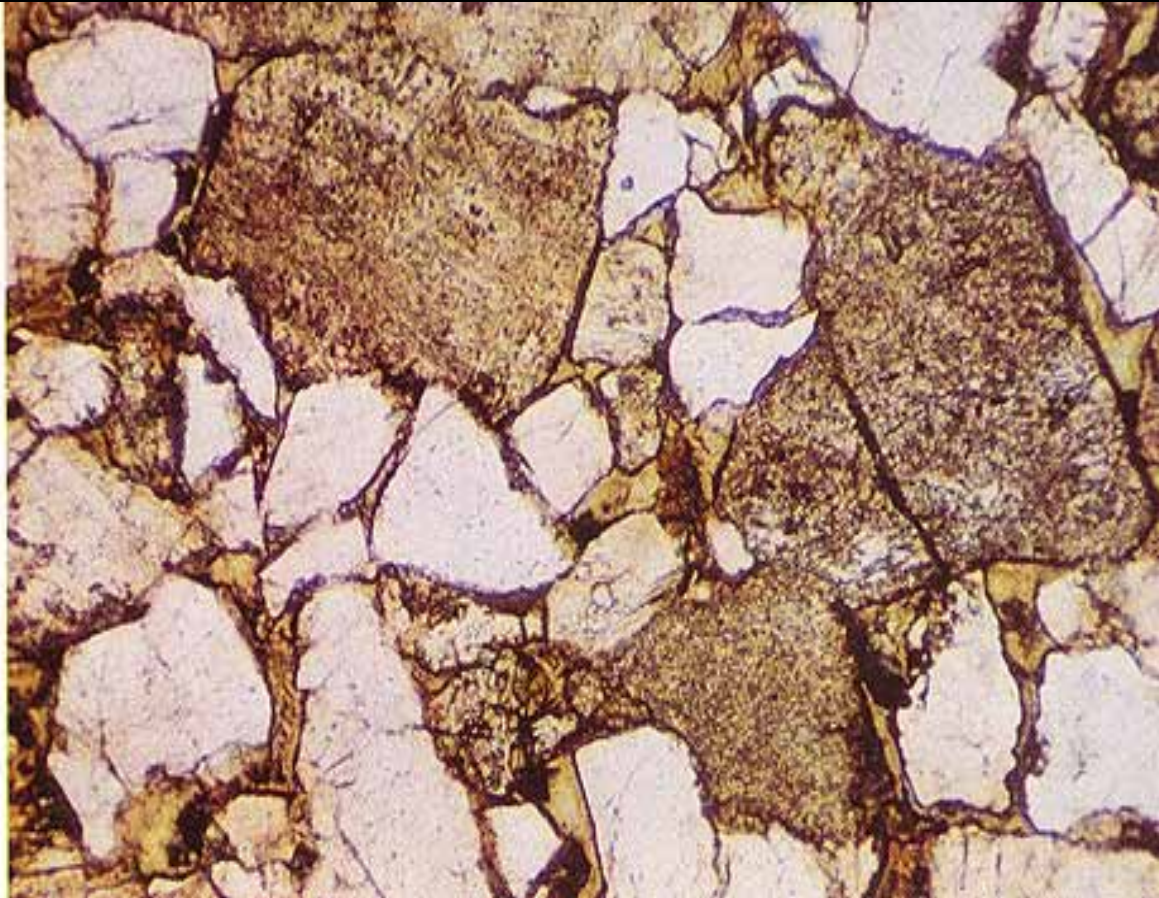
(7) 含有少量粘土基质。



Lower Cretaceous Patula Arkose  
Mexico

The plagioclase feldspars in this example can be readily distinguished from quartz because of the darker appearance of the feldspars caused by secondary vacuolization and sericitization. It is difficult but important to distinguish detrital altered grains from those which have decayed *in situ*.

0.30 mm







(8) 胶结物常为钙质，有时为铁质，硅质较少。

(9) 化学成分与其花岗质母岩极其相似，富含 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{K}_2\text{O}$ 。

(10) 粒度一般较粗，分选性和磨圆度变化很大。

(11) 颜色，一般为肉红色（钾长石），也有呈灰色或白色的。

## 2. 岩屑质长石砂岩

$$R=10 \sim 50\% , F=25 \sim 75\% , F>R$$



## (二) 成因 (Origin)

### 1. 物质基础

要有富含长石的母岩，如花岗岩、花岗片麻岩等。

### 2. 有利于母岩崩解条件

(1) **构造条件**：在构造活动比较强烈的地区，形成高差较大的地形起伏，花岗质基底隆起，相邻地带发生沉陷，从而使母岩遭受到**剧烈侵蚀、快速堆积**。





(2) 气候条件：极其干旱或寒冷的气候条件下化学风化减弱有利于不稳定组分的保存，温湿气候条件也有长石砂岩的堆积。

### 3. 多在特定的环境下生成

(1) 在地台区少见，台地区多为基底型长石砂岩，分布不广，厚度较小。

(2) 在地槽区有大量长石砂岩，一般堆积于山间坳陷、边缘坳陷的河湖环境中，海成者很少见。



## 五、岩屑砂岩类

### (一) 主要类型 (Main types)

#### 1. 岩屑砂岩 (Rock fragment sandstones)

(1) 含有丰富的岩屑,  $R > 25\%$ ,  $F < 25\%$ ,

$Q < 75\%$



(2) 岩屑成分复杂，有时在一种砂岩之内岩屑可达20种之多，常见的可分三类：

a. 各种隐晶质的**喷出岩岩屑**。

b. 板岩、千枚岩及云母片岩等低级**变质岩岩屑**。

c. 粉砂岩、粘土岩、硅岩及燧石岩屑，以及灰岩、白云岩等**沉积岩岩屑**。



(3) 石英一般也是岩屑砂岩的主要成分：

在含沉积岩岩屑的砂岩中，Q圆度较高。

在含变质岩岩屑的砂岩中，Q为多晶，棱角状~次棱角状。

(4) 长石含量一般较少，主要为酸性斜长石，还有正长石、条纹长石、微斜长石等。



(5) 可含有碎屑云母：黑云母和白云母

(6) 常见的重矿物有锆石、电气石、角闪石、绿帘石、斜黝帘石、榍石、柎榴石等。

(7) 常见碳酸盐和氧化硅胶结物，一般缺乏基质物质，有时出现假基质。

(8) 化学成分差异大， $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{K}_2\text{O}$ 含量较高。

(9) 颜色一般呈浅灰色、灰绿色、灰黑色等。



(10) 分选性及磨圆度均不好，一般为细粒结构

(11) 分类：  
变质岩屑砂岩  
燧石岩屑砂岩  
粉、泥岩屑砂岩  
钙岩屑砂岩（灰屑砂岩）  
火山岩屑砂岩

## 2. 长石质岩屑砂岩

$Q < 65\%$  ,  $F = 10 \sim 50\%$  ,  $R > F$





## (二) 成因 (Origin)

1. 岩屑砂岩的形成条件与长石砂岩基本类似，需要有利于不稳定物质产生和沉积的条件，即：**强烈的物理风化和近源快速堆积。**

2. **燧石岩屑砂岩**则相反，它表示构造条件稳定，地形起伏小，长距离搬运及较彻底的风化条件。

3. 泥质岩屑为局部来源区的标志。



## 六、杂砂岩

杂砂岩：粘土基质 $>15\%$ （ $<50\%$ ）的、分选不好的、泥砂混杂的砂岩。

### （一）一般特征（General characteristics）

1. 杂砂岩一般富含石英，有不同比例的F、R，少量云母碎屑。
2. 石英一般有棱角，常有显著的波状消光，含量50%左右。
3. 长石主要是斜长石，钾长石少见。



4. 岩屑主要是泥页岩、粉砂岩、板岩、千枚岩和云母片岩，燧石、细粒石英岩及多晶石英也可以较丰富。

5. 碎屑云母常见，但含量不高。

6. 可见方解石、铁白云石等碳酸盐矿物。

7. 富含杂基，颗粒越细，基质含量越高。

8. 总的化学成分在世界各地都很相似，一般富含 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 。



9. 颜色：暗灰色、黑色。

10. 一般坚硬，固结良好。

11. 常具**递变层理**和**底面印模**构造，一般与泥岩或板岩呈韵律互层。

12. 磨圆度和分选性均不好，颗粒一般呈尖锐棱角状。



## (二) 成因 (Origin)

杂砂岩的形成条件与长石砂岩类似，即需要侵蚀、搬运及沉积的快速进行。

典型的杂砂岩通常堆积在急速沉降的地槽中，并且主要是在较老层系的复理式建造中。



## 七、粉砂岩 ( Siltstones )

粉砂岩：主要由0.1~0.01mm粒级 (>50%) 的碎屑颗粒组成的细粒碎屑岩。

### (一) 一般特征

(1) 碎屑物质中，稳定组分较多，成分较单纯，常以石英为主，长石较少（多为钾长石，次为斜长石），白云母较多，岩屑极少或不存在。

(2) 重矿物含量比砂岩多，可达2~3%，多为稳定性高的组分。





(3) 粘土基质含量一般相当多。

(4) 碳酸盐胶结物较常见，铁质和硅质较少。

(5) 颗粒圆度不高，分选一般较好。

(6) 常见薄的水平层理和波状层理，亦见小型交错层理和包卷层理。



## (二) 分类及主要类型

( Classification and main types )

### 1. 据粒度分

粗粉砂岩 ( 0.1 ~ 0.05mm )

细粉砂岩 ( 0.05 ~ 0.01mm )

### 2. 据碎屑成分分

单成分粉砂岩：石英粉砂岩

复成分粉砂岩



### 3. 据胶结物成分分

铁质粉砂岩

钙质粉砂岩



### 4. 黄土

一种半固结的泥质粉砂岩，粉砂  $>50 \sim 60\%$ ，泥质可达  $30 \sim 40\%$ ，砂（ $<0.25\text{mm}$ ） $10\% \pm$ 。



### (三) 成因 (Origin)

粉砂岩是经过较长距离搬运，在稳定的水动力条件下缓慢沉降形成的。

粉砂岩分布极其广泛，几乎所有的砂—泥质岩系中都有粉砂岩层或夹层。



## 八、砂岩的油气储集性能及其与岩性的关系

1. 砂岩是良好的**储集油气**的岩石。据统计，在世界上已发现的油气田中，以砂岩作储集岩的油田约占半数以上。我国已发现的油气田，储集岩大多数为碎屑岩类型。

2. 砂岩的孔隙由**原生和次生孔隙**两部分组成。研究表明，不少油田的砂岩储集层均为次生孔隙或以次生孔隙为主。

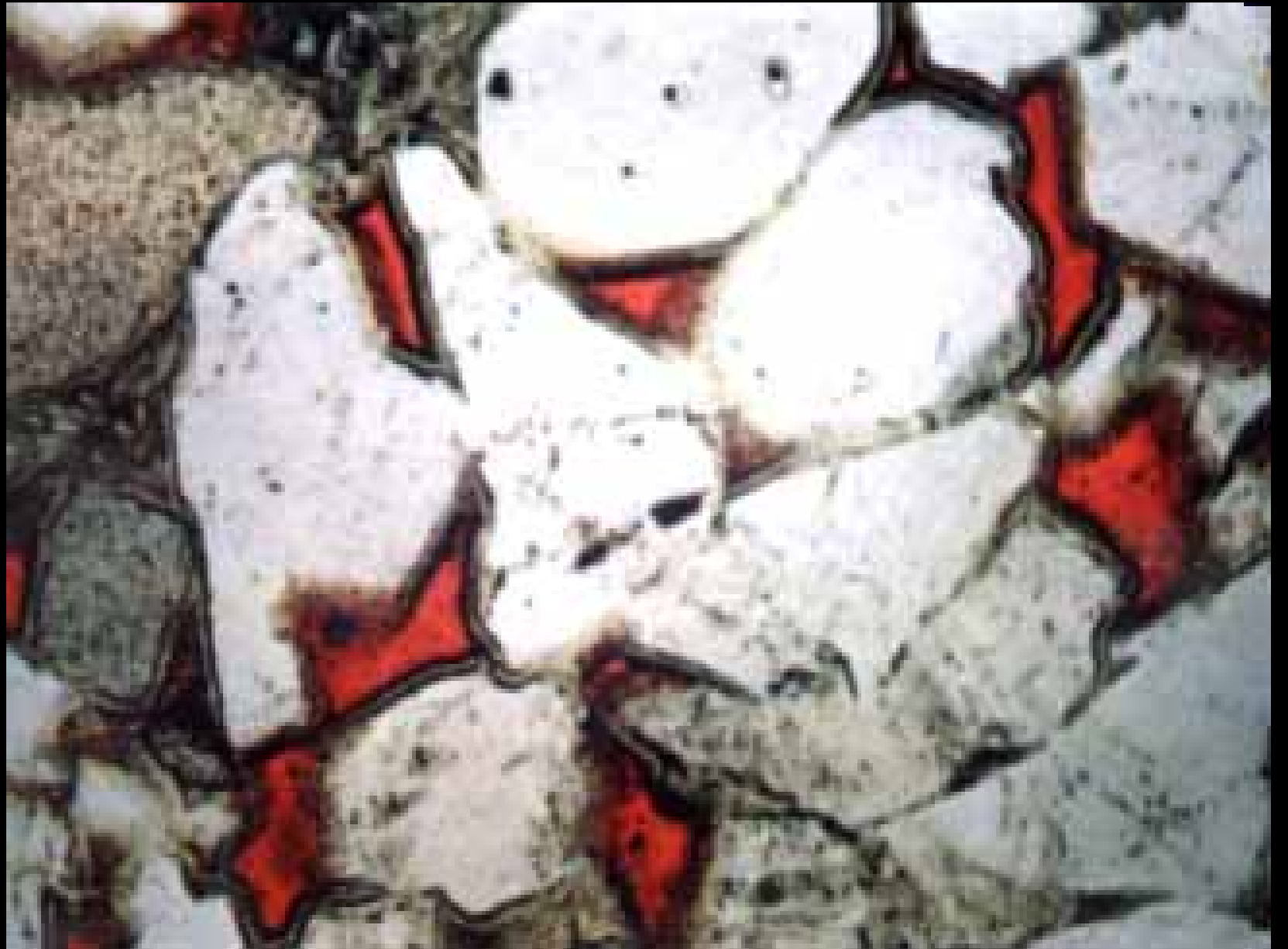


### 3. 砂岩的储集性能表示参数：孔隙度、渗透率

**有效孔隙度**——砂岩中相互连通的孔隙空间体积与岩石总体积之比。

**渗透率**——表示岩石在一定的压差下使流体流过的能力。

**孔隙度与渗透率之间可以有很好的相关关系**









4. 良好的砂岩储集岩大多数是**中砂岩和细砂岩**，其次为粗砂岩和粗粉砂岩。

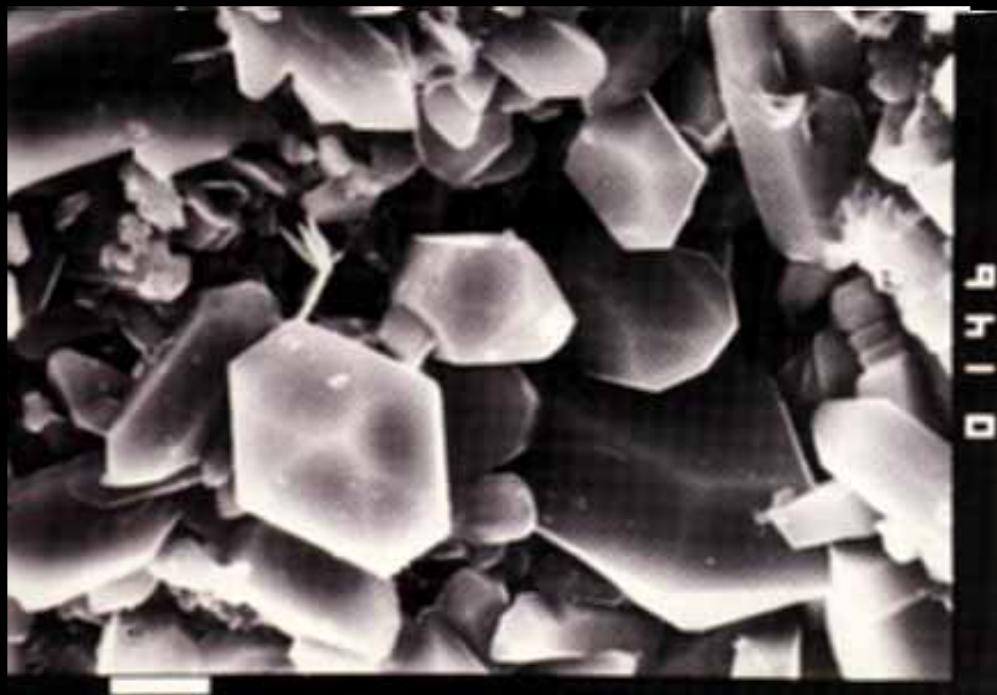
5. 砂岩的孔隙度取决于**粒度组分、排列方式、填隙物的数量和成分**。

6. 影响渗透率的岩石特性有**粒度、分选、格架颗粒的排列、胶结作用以及层理**。

7. 从砂岩类型来看，**石英砂岩的储油物性最好**。

我国大多数油田的砂岩类型多属长石砂岩，一般渗透性良好。







# 扫描电镜 500 ×





# 本节要点：

- 砂岩的概念及结构分类
- 福克（1968年）的分类
- 信荃林（1982年）的分类（重点）
- 石英砂岩、长石砂岩、岩屑砂岩和杂砂岩的特征及其形成环境（重点）
- 粉砂岩的定义、分类及成因
- 砂岩与油气的关系