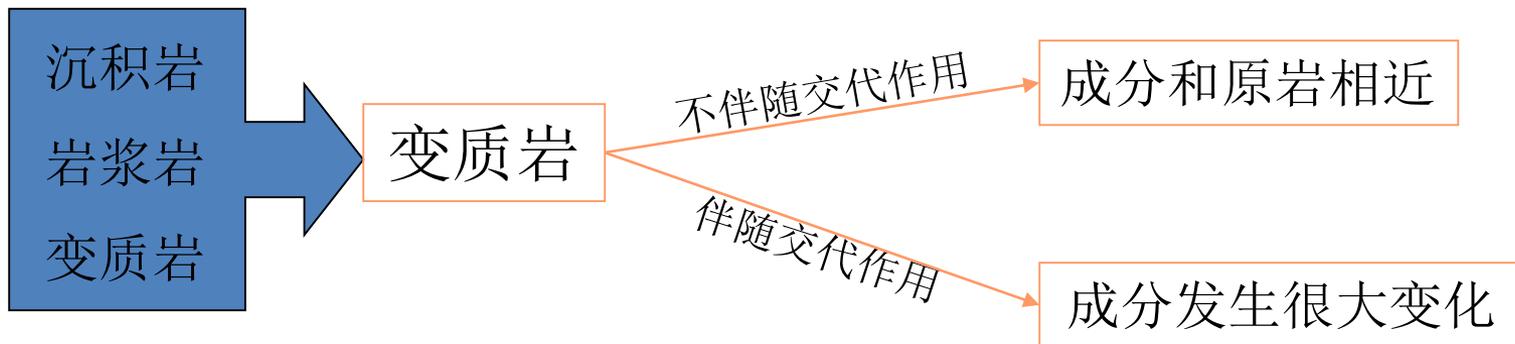


# 一、变质岩的物质成分

化学成分  
矿物成分

## (一) 变质岩的化学成分



变质岩的化学成分： $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 等

研究意义：分析原岩、变质、交代作用的特点  变质地层的划分和对比  
研究变质矿床的形成

## • 元素在变质作用中的行为

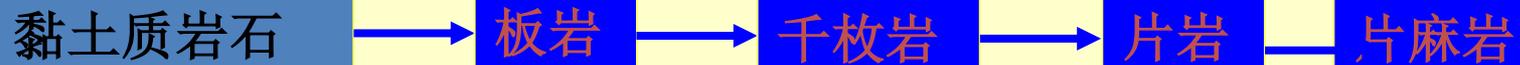
1.  $\text{H}_2\text{O}$ \、 $\text{CO}_2$ 等挥发份含量变化最大，随温度升高减少。
2. 大多数亲铜元素（ $\text{Cu}$ \、 $\text{Pb}$ \、 $\text{Zn}$ \、 $\text{Ag}$ \、 $\text{As}$ \、 $\text{Te}$ \、 $\text{Sb}$ \、 $\text{Hg}$ \、 $\text{Rb}$ \、 $\text{Sr}$ \、 $\text{Ba}$ ）随温度升高活动性增大，被变质热液带出带入。
3. 一些亲铁元素（ $\text{Fe}$ \、 $\text{Cr}$ \、 $\text{Co}$ \、 $\text{Ni}$ ）稳定性较大，而一些难溶的铂族元素（ $\text{Pt}$ \、 $\text{Pa}$ ）稳定性更大。
4. 主要造岩氧化物含量在一般变质作用中无明显变化，基本上可视为等化学过程。

# • 等化学系列概念和类型

## 1. 等化学系列概念

指原始总化学成分特征相同的所有变质岩。同一化学系列变质岩中矿物组合的不同，只取决于变质作用的物理化学条件。

### 等化学系列概念说明图解



## 2. 等化学系列类型

按变质岩化学成分特点可分为五个等化学系列：

**1. 富铝系列：**化学成分特征是**富铝； 贫钙； 铁, 镁低； 钾 > 钠。** 原岩是泥质岩石（泥岩、页岩）或火山凝灰岩。

**2. 长英质系列：**化学成分特征是**富硅； 贫钙, 铁, 镁； 铝含量也较低。** 原岩是含长石的各种砂岩, 粉砂岩和酸性—中酸性火山岩, 花岗岩。

**3. 碳酸盐系列：**化学成分特征是**富钙, 镁； 铝, 铁, 硅含量较低且变化范围大。** 原岩为石灰岩和白云岩。

**4. 铁镁质系列：**化学成分特征是**贫硅； 富铁, 镁, 钙； 钠 > 钾； 含一定量的铝。** 原岩是基性火山岩；火山碎屑岩；辉长-辉绿岩；铁质白云质泥灰岩；基性岩屑砂岩等。

**5. 超铁镁质系列：**化学成分特征是**富铁, 镁； 贫钙, 铝, 硅。** 原岩是超基性侵入岩；超基性火山岩和极富镁的沉积岩

# (二) 变质岩的矿物成分

## 1、变质矿物成分的一般特征

岩浆岩、沉积岩、变质岩中均可出现的矿物

主要在岩浆岩中出现的矿物

主要在变质岩中出现的矿物

主要见于沉积岩中的矿物

石英  
 钾长石  
 白云母、金云母、黑云母  
 斜长石类  
 角闪石类  
 辉石类  
 部分石榴子石  
 橄榄石类  
 碳酸盐矿物  
 磁铁矿  
 赤铁矿  
 菱铁矿  
 磷灰石  
 石膏  
 锆石  
 金红石

鳞石英  
 白榴石  
 歪长石  
 霞石  
 黄长石  
 方钠石  
 蓝方石  
 黝方石  
 玄闪石武角

2、Ca

1、Al

钠云母  
 帘石类 透辉石、石榴子石  
 符山石、方柱石  
透闪石、阳起石  
 硅灰石  
 蓝闪石  
 软玉、硬玉  
 硬绿泥石  
红柱石、蓝晶石  
夕线石、刚玉  
堇青石、十字石  
 硅镁石、方镁石  
 蛇纹石、滑石  
 石墨等

5、比重

3、形状

蛋白石  
 玉髓  
 粘土矿物  
 水铝石  
 盐类矿物  
 煤  
 海绿石

4、玻璃质、不稳定副矿物、盐类矿物

→ 特点总结

## 2、变质岩中矿物的特点

- 变质岩中出现一些岩浆岩、沉积岩中不出现的矿物，如蓝晶石、红柱石、矽线石、堇青石、硅灰石等。
- 变质岩中**富钙的硅酸岩矿物**，如透闪石、透辉石、绿帘石、石榴子石等主要是接触交代变质作用形成。
- 变质岩中**广泛发育的纤维状、鳞片状、长柱状及针状矿物**，如矽线石、绢云母、透闪石等，由于应力作用结果。
- 变质岩中**不含玻璃质及不稳定的副矿物**，多发育含(OH)的矿物与流体作用有关。
- 变质岩中常出现**比重大、分子体积小**的矿物，如石榴子石等。石英长石常具波状消光。

### 3、矿物成分与原岩化学成分的关系

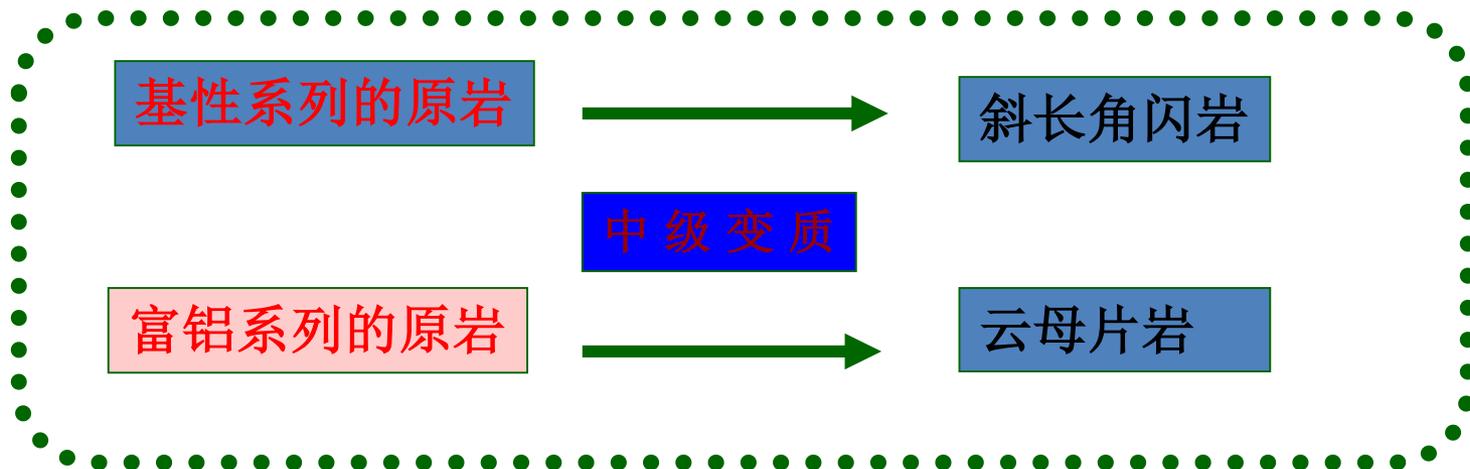
1. 富铝系列: 硬绿泥石、十字石、堇青石、铁铝榴石、红柱石、蓝晶石、矽线石。
2. 长英质系列: 极少出现富铝系列特征变质矿物。
3. 碳酸盐系列: 方解石、白云石、滑石、蛇纹石、镁橄榄石、透辉石、透闪石、硅灰石、金云母、钙铝榴石。
4. 铁镁质系列: 辉石、角闪石、绿泥石、阳起石、绿帘石, 等大量铁镁矿物。
5. 超铁镁质系列: 滑石、蛇纹石、透闪石、橄榄石、镁铝榴石、尖晶石、辉石、镁铁闪石等。

## 4、矿物成分与变质条件的关系——等物理系列

### (1) 等物理系列的概念

对于特定成分的原岩体系来说，决定变质岩中矿物组合的因素是变质条件，为了描述不同的变质条件及其对应的产物特征，引入了等物理系列的概念。

指相同或特定变质条件下形成的所有变质岩。同一物理系列变质岩矿物成分的不同决定于原岩的总化学成分。



## (2) 等物理系列的划分

Winkler (1974) 按温度将变质强度划分为四个变质级(等物理系列):  
很低级, 低级, 中级, 高级

- 很低级变质: 特征是变质基性岩中出现**浊沸石, 硬柱石, 葡萄石, 绿纤石**等矿物的出现为标志, 温度区间为200-350°C.
- 低级变质: 以变质基性岩中硬柱石, 葡萄石, 绿纤石等矿物反应形成**黝帘石和阳起石**为标志, 温度区间为350-550°C
- 中级变质: 标志是泥质岩石中**十字石(堇青石)**出现和绿泥石消失. 在变质基性岩中以普通角闪石+斜长石(An<sub>17</sub>)为特征. 温度区间为550-650°C.
- 高级变质: 标志是泥质岩石中白云母和石英反应形成**矽线石和钾长石组合**(变质成因的紫苏辉石代表高级变质条件), 温度区间 > 650°C.

## 5、变质矿物的成因分类

### (1) 新生矿物（变晶矿物）

在变质作用过程中形成的矿物，如粘土岩——红柱石、堇青石、矽线石

### (2) 原生矿物

在变质作用过程中保留下来的原岩中的稳定矿物

### (3) 残留矿物

在变质作用过程中残留下来的原岩中的不稳定矿物

# 5、变质矿物的成因分类

## 1. 稳定矿物:

在特定变质条件下新形成的矿物或虽是原岩中的矿物,但在新的P-T条件下仍然保持稳定的矿物, 包括新生矿物和原生矿物

## 2. 不稳定矿物:

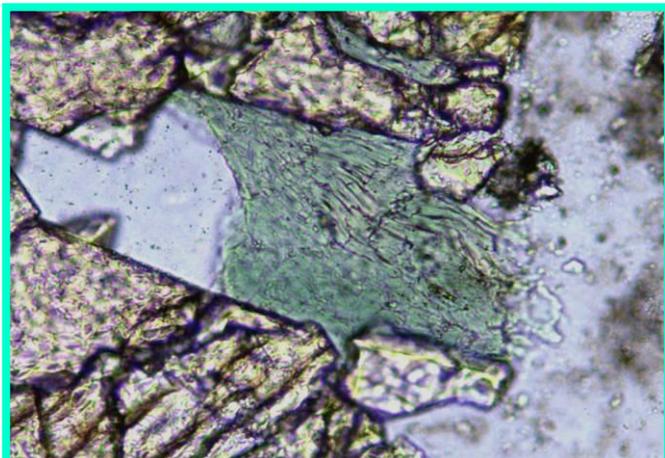
指对某一变质作用的P-T条件来说是不平衡的原岩中的矿物,因变质反应不彻底而保留下来, 包括残留矿物。

## 3. 特征变质矿物:

有些矿物稳定存在的温度和压力范围较窄,因而能较好地反映特定的温度和压力条件.如粘土岩经变质作用形成的矿物, 绢云母和绿泥石（低级）、蓝晶石和十字石（中级）、矽线石（高级）

# 常见特征变质矿物

## 常见低级变质矿物



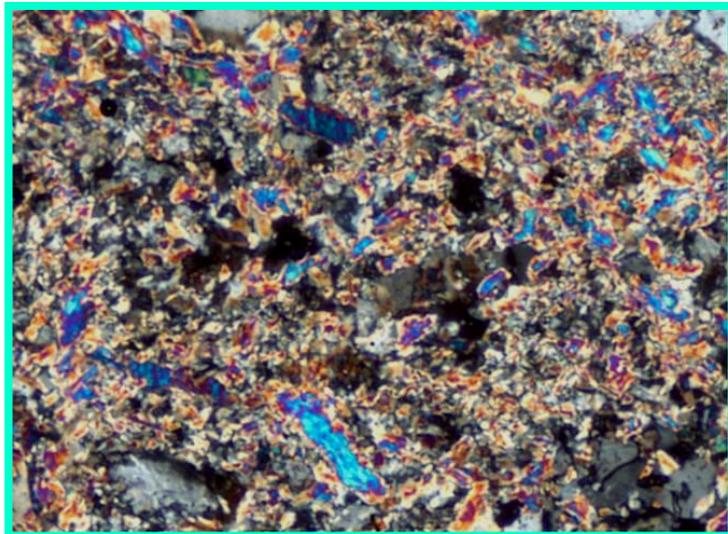
绿泥石



绢云母



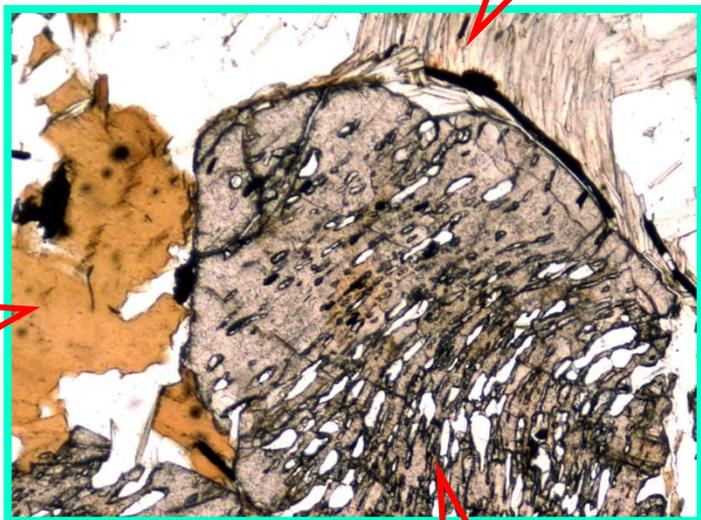
蛇纹石



# 常见特征变质矿物

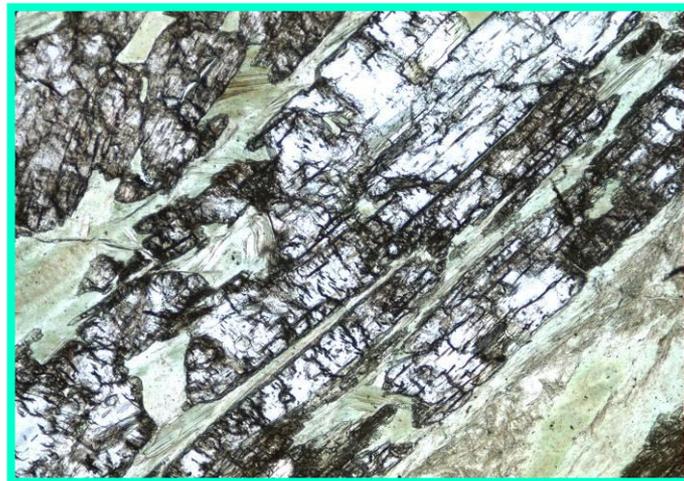
## 中级变质矿物

白云母

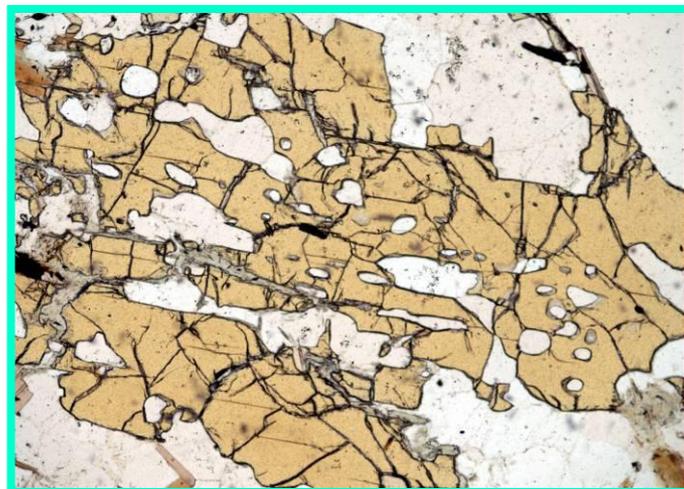


黑云母

石榴石



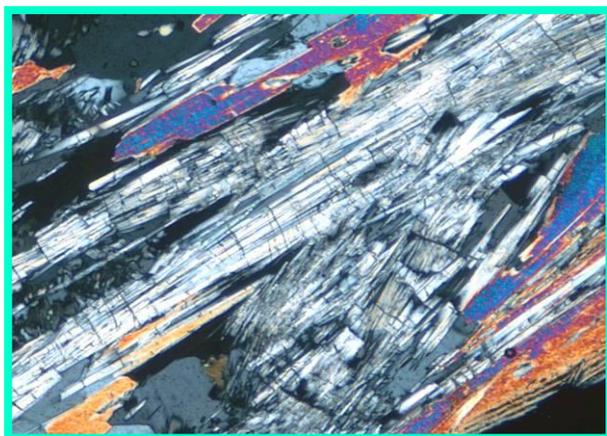
蓝晶石



十字石

# 常见特征变质矿物

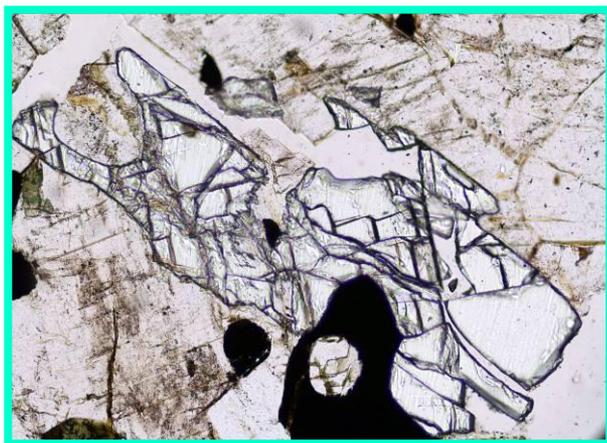
## 中、高级变质矿物



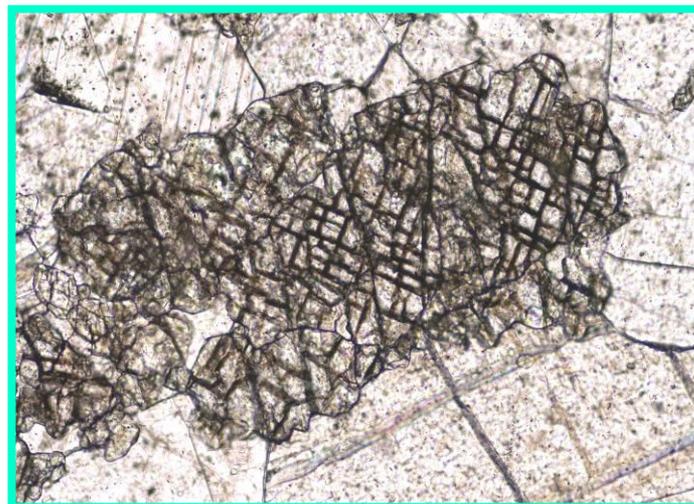
矽线石



石榴石



刚玉



透辉石

## 二、变质岩的结构和构造

结构指构成变质岩的矿物的晶粒大小、形状、以及它们之间的相互关系。

构造指变质岩中各组分在空间的排列、分布方式。

### 研究意义

1、判断岩石所经历的变质作用类型和强度

动力变质岩

碎裂结构、糜棱结构

矿床分布预测

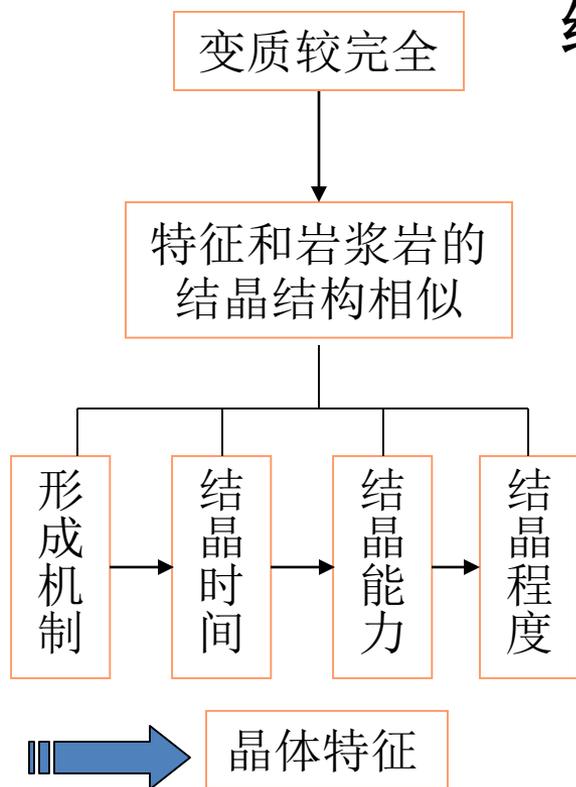
2、判断变质作用的过程，及原岩恢复

3、作为变质岩分类命名的基础

# (一) 变质岩的结构

根据变质作用的方式和程度，可以把变质岩的结构分为四类：变晶结构、压碎结构、变余结构、交代结构

**1、变晶结构** —原岩在变质作用过程中，以固态方式使原来的物质发生变质重结晶作用和变质结晶作用所形成的结构。



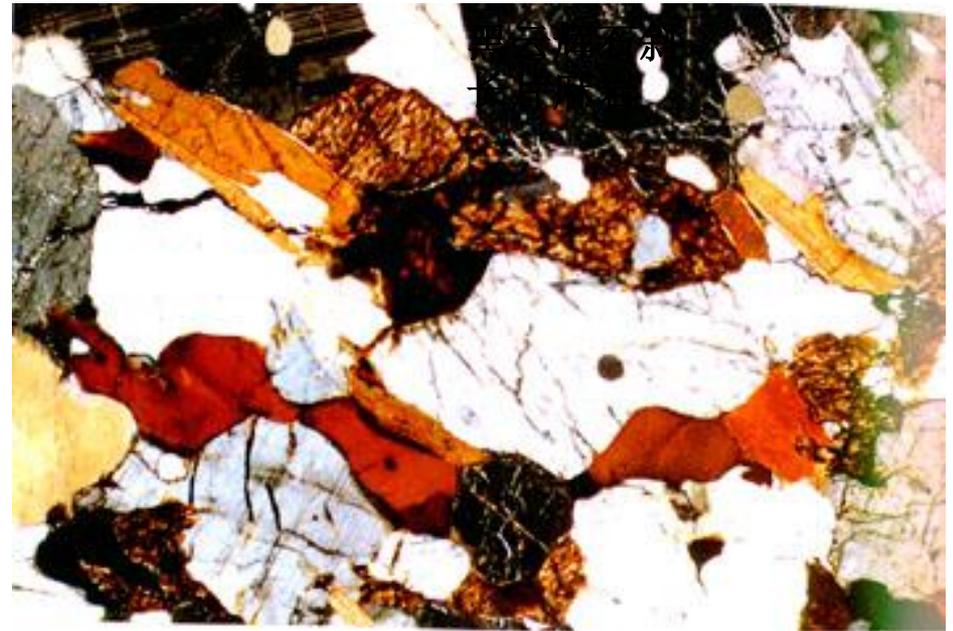
# 变晶结构和岩浆岩结构的区别



- **形成机制** 变晶结构是在固态条件下，由重结晶作用和变质结晶作用形成的，岩浆岩的结构是岩浆矿物直接从熔融体中结晶所形成的。
- **结晶时间** (2) 变晶结构的矿物颗粒几乎是同时生长的，变斑晶与变基质同时、甚至稍晚形成；这与岩浆岩中的情况不同。
- **结晶能力** (3) 变晶结构中的矿物自形程度并不表示结晶的先后顺序，只反映矿物结晶能力的大小。
- **结晶程度** (4) 变质岩中不出现玻璃质或半晶质结构。



红柱石板岩



# 变晶结构的分类

## (2) 根据颗粒相对大小:

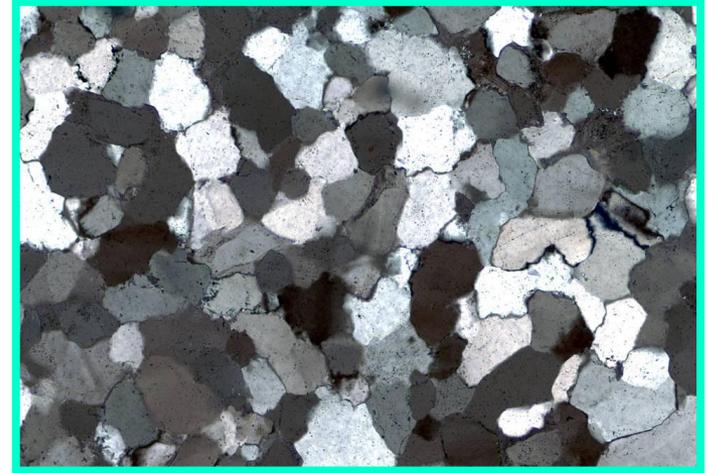
等粒变晶结构

不等粒变晶结构

斑状变晶结构

变斑晶

变基质



显微变晶结构石英岩

## (1) 根据晶粒大小

粗粒变晶结构 平均粒径 $>3\text{mm}$

中粒变晶结构 平均粒径 $1-3\text{mm}$

细粒变晶结构 平均粒径 $<1\text{mm}$

显微变晶结构 平均粒径 $<0.1\text{mm}$



斑状变晶结构红柱石板岩

### (3) 按变晶矿物颗粒的形态

#### 粒状变晶结构

又称花岗变晶结构，岩石大致由等轴粒状变晶颗粒组成，镶嵌紧密、不具方向性，其矿物组成主要为长石、石英、方解石、白云石、辉石、角闪石、石榴石等。

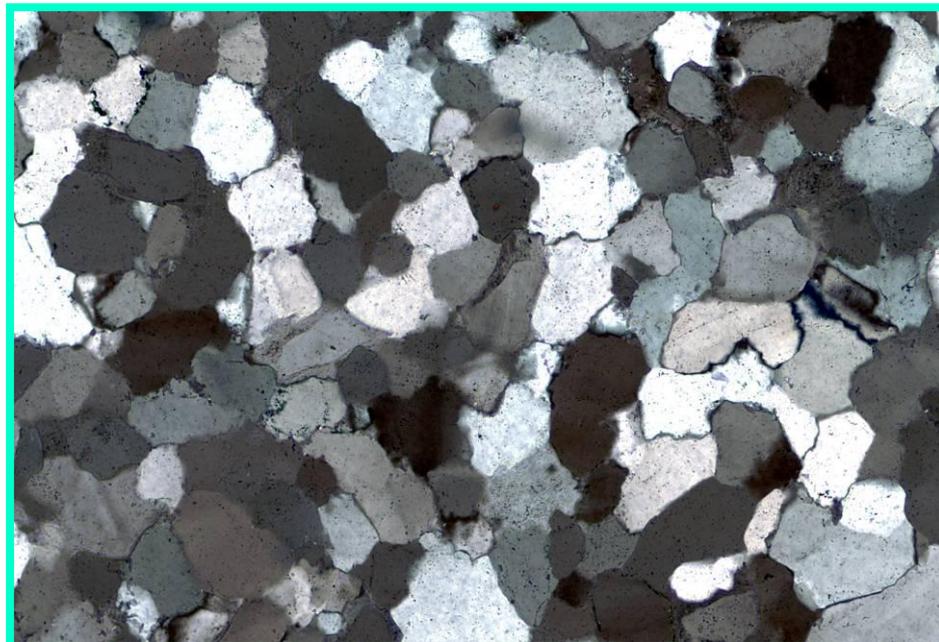
↑ 概念

镶嵌粒状变晶结构：矿物颗粒呈简单多边形或者弯弧形，彼此接触平直。

齿形粒状变晶结构：矿物颗粒外形不规则，彼此接触呈齿状。



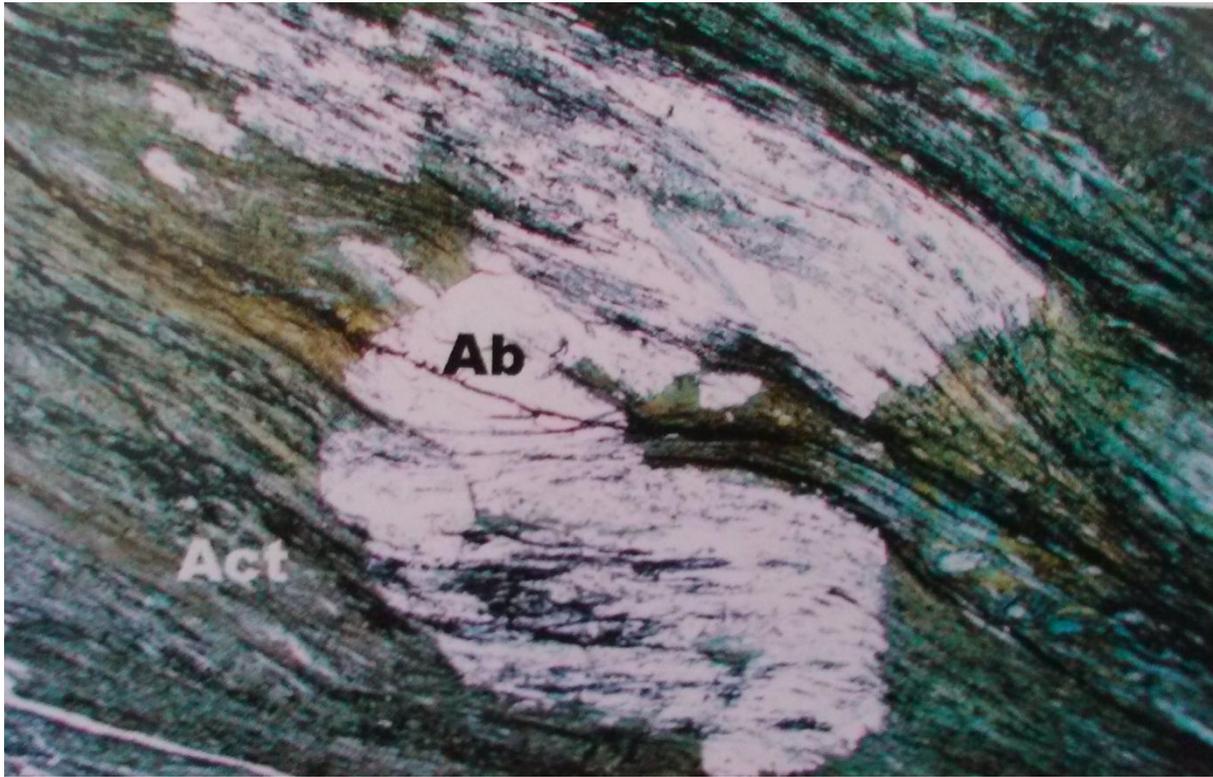
镶嵌粒状变晶结构（大理岩）



齿形粒状变晶结构（黑云母角岩中的石英结核）

# 纤状变晶结构

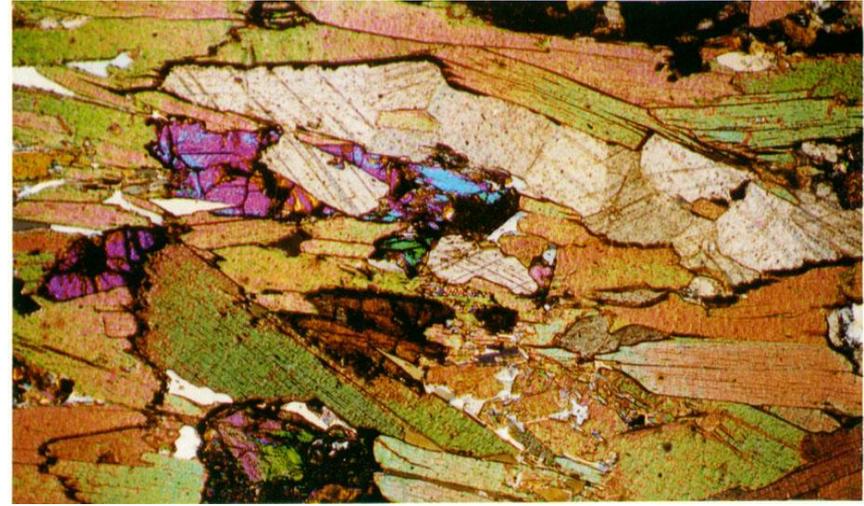
主要由柱状、针状和纤维状变晶矿物组成，矿物常呈定向排列或呈放射状、束状集合体产出。如阳起石、透闪石、矽线石等。



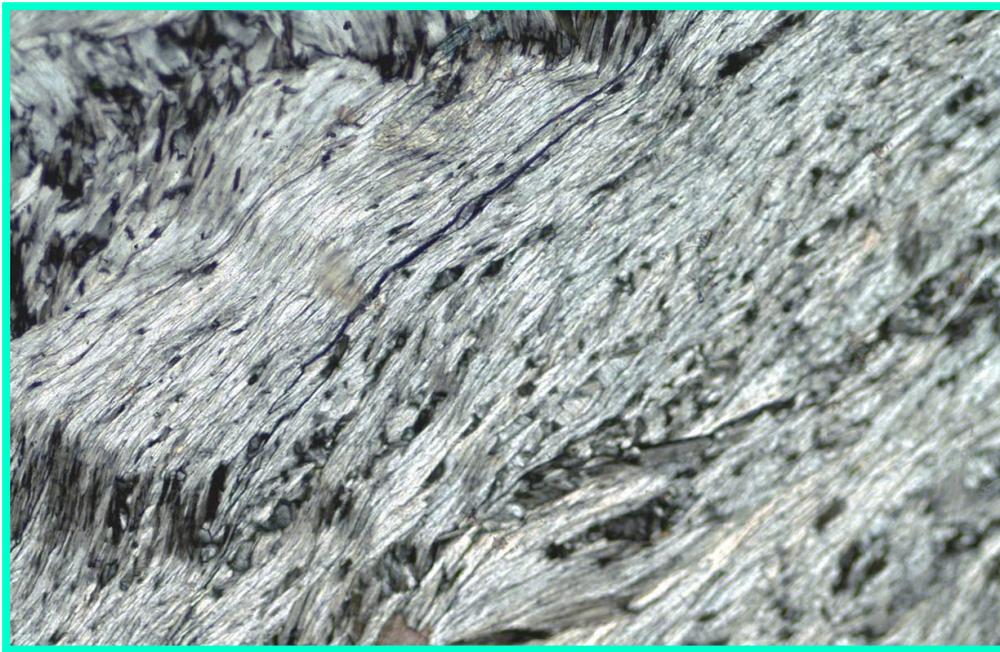
钠长阳起石片岩

## 鳞片变晶结构

主要由鳞片状及片状矿物所组成，它们一般呈现定向排列，形成片理构造，如云母片岩、绿泥石片岩



黑云母片岩



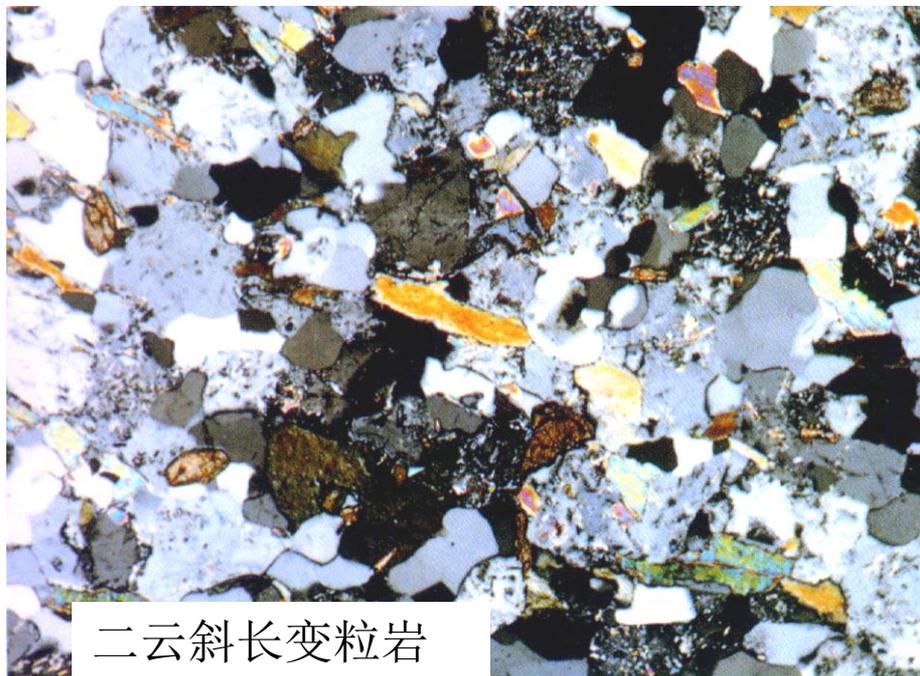
绿泥石片岩

## 鳞片（纤状）粒状变晶结构

变晶矿物有鳞片状（纤状）矿物及粒状矿物等，其中粒状矿物为主，鳞片状矿物次之。

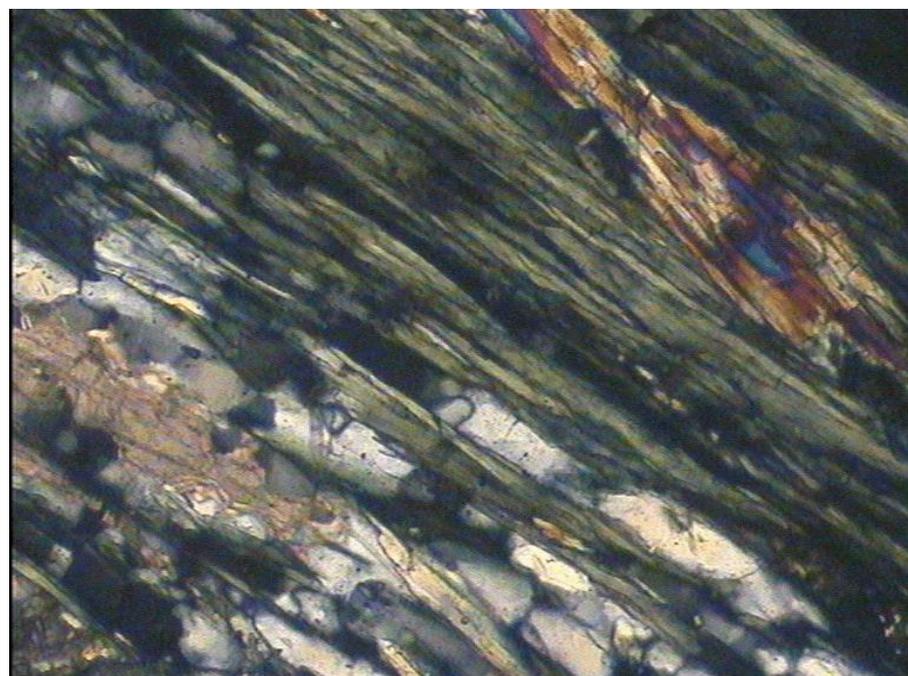
## 粒状鳞片（纤状）变晶结构

变晶矿物有鳞片状（纤状）矿物及粒状矿物等，其中鳞片状矿物为主，粒状矿物次之。



二云斜长变粒岩

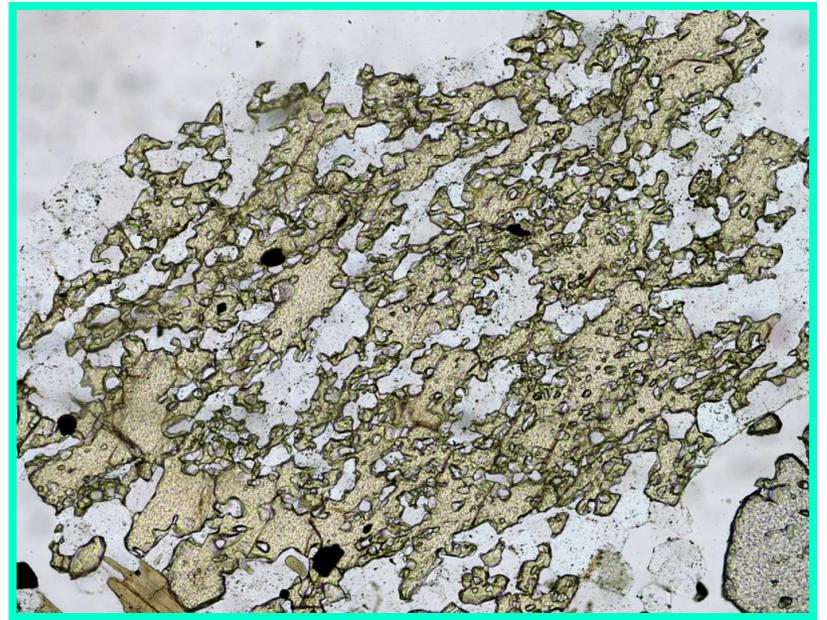
细粒鳞片粒状变晶结构



细粒粒状鳞片变晶结构（绿泥石片岩）

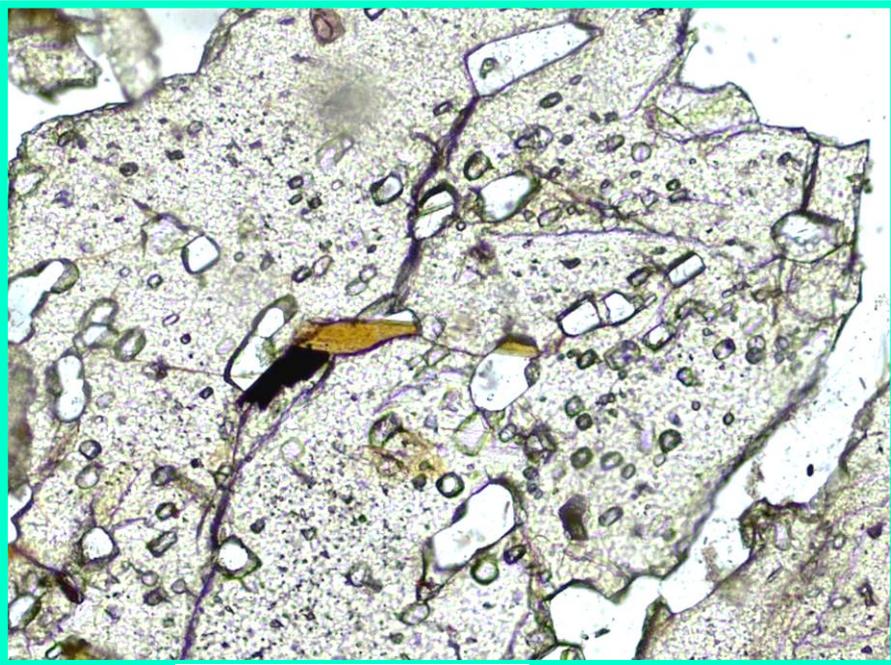
## (4) 按矿物颗粒彼此相互交生的情况

包含变晶结构：大的变晶矿物包含了不定向的、**为数不多的**其它矿物小晶体。



十字石

筛状变晶结构：大的变晶矿物中包含了**许多**小的矿物晶体，宛如筛状，因而得名。



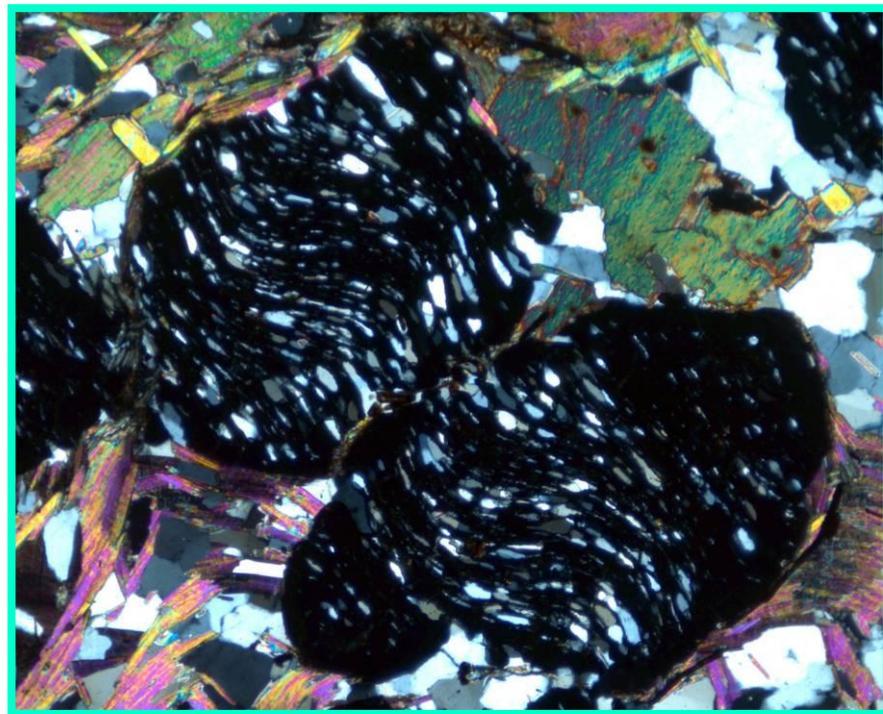
石榴子石

**提示：**

**与包含变晶结构的区别在包裹的小颗粒多！**

## 残缕结构

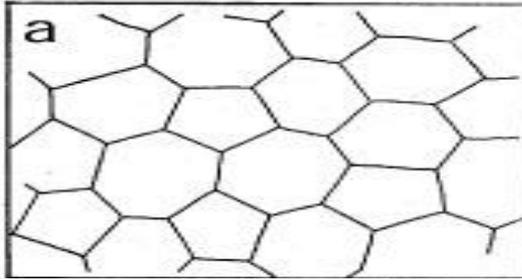
较大的变晶矿物中包裹的细小矿物颗粒作平行定向排列，并与变晶基质中的同种矿物断续相连。



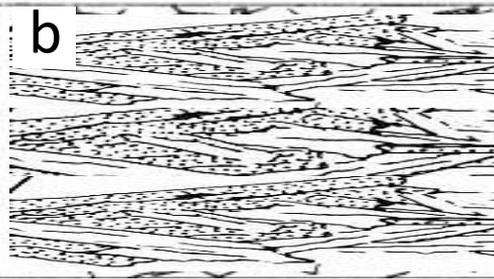
提示：

与筛状变晶结构的区别是包裹的小颗粒定向、断续相连！

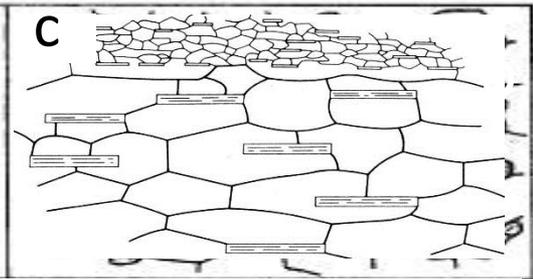
# 变晶结构的主要类型



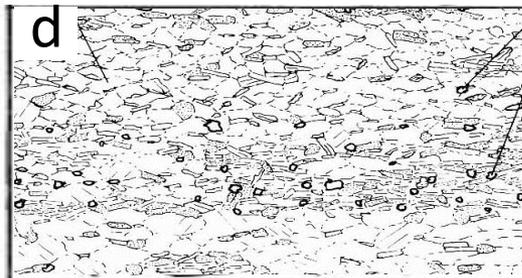
粒状变晶结构



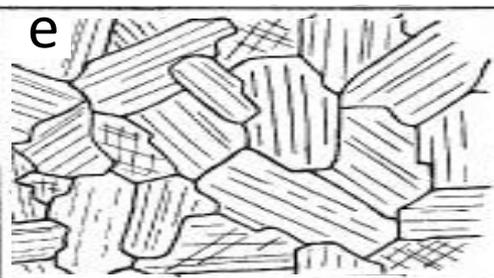
鳞片变晶结构



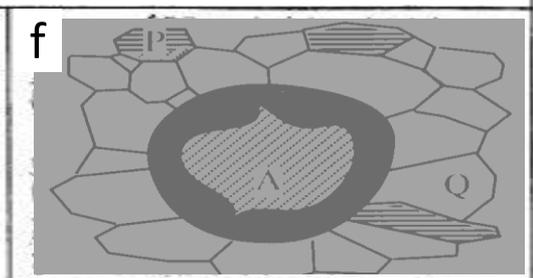
鳞片粒状变晶结构



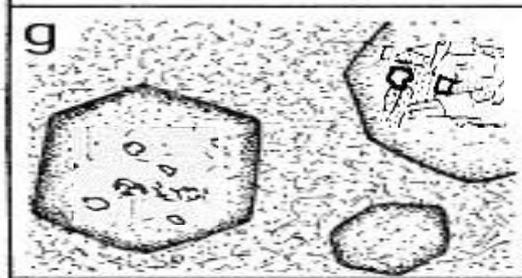
微粒变晶结构



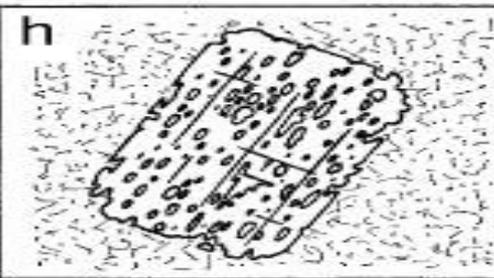
齿形粒状变晶结构



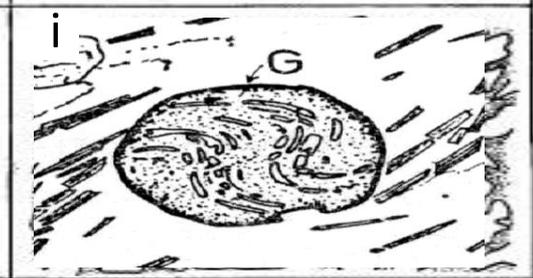
反应结构



包含嵌晶变晶结构



筛状变晶结构



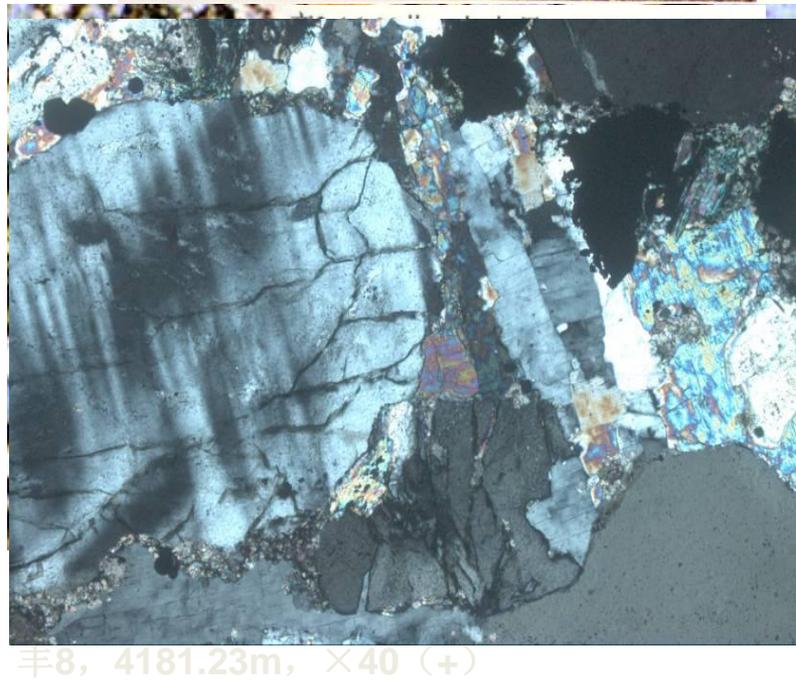
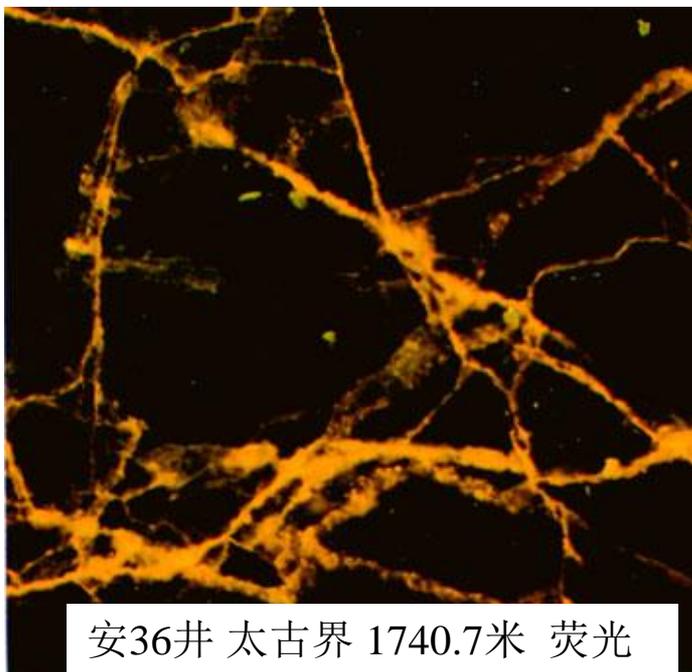
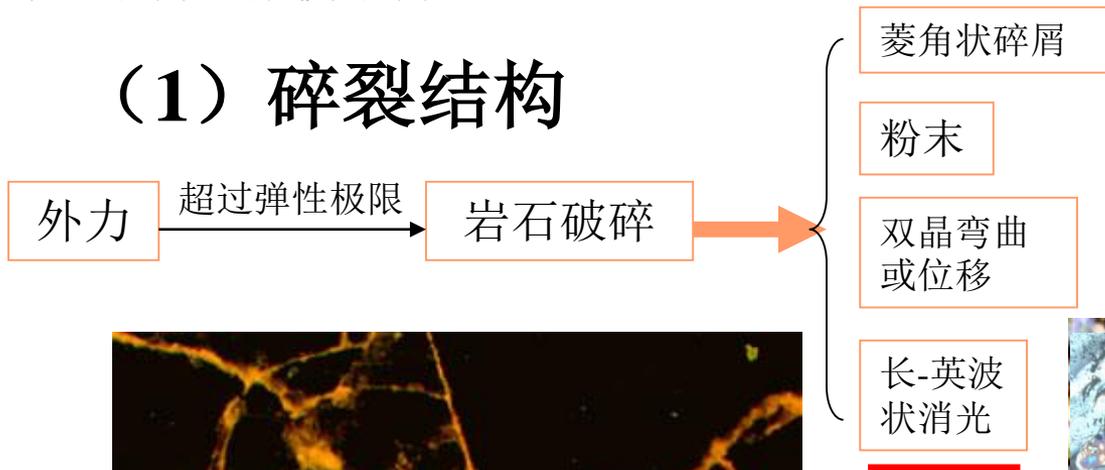
残缕结构

## 2、碎裂及变形结构

岩石或者矿物在应力作用下超过了弹性极限，岩石或者矿物发生破裂、磨损等结构。

根据矿物的机械破碎程度大致可分为：碎裂结构、碎斑结构和糜棱结构。

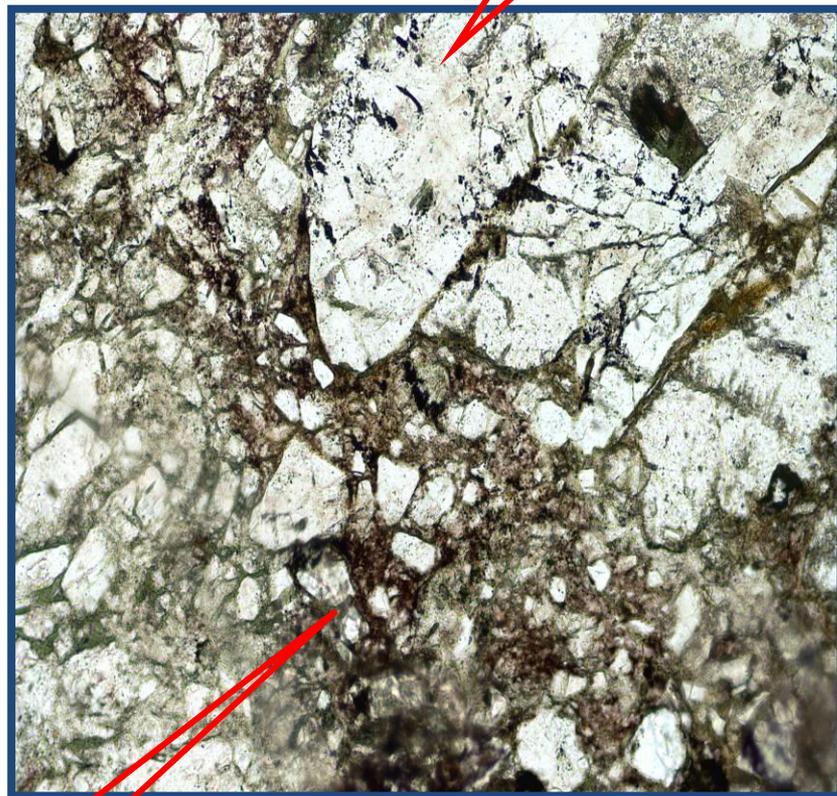
### (1) 碎裂结构



## (2) 碎斑结构

当破碎剧烈时，在粉碎了的矿物颗粒（称**碎基**）中还残留有部分较大的矿物碎粒，很像斑晶（即**碎斑**），称为碎斑结构。

碎斑形状不规则，其撕碎状边缘、裂纹，波状消光发育。碎基是粒化的细小碎粒至隐晶质状的粉末；碎基颗粒往往也具波状消光等现象。



碎斑

碎基

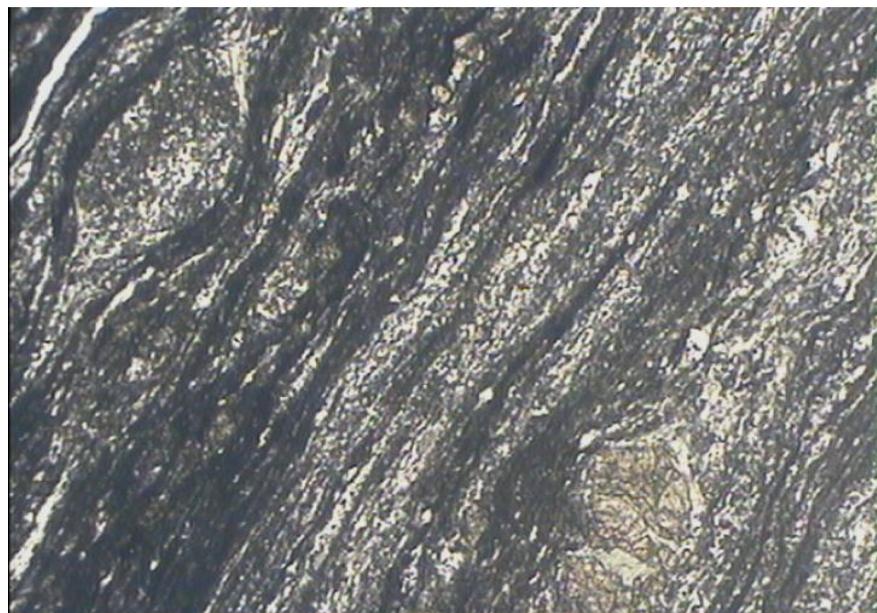
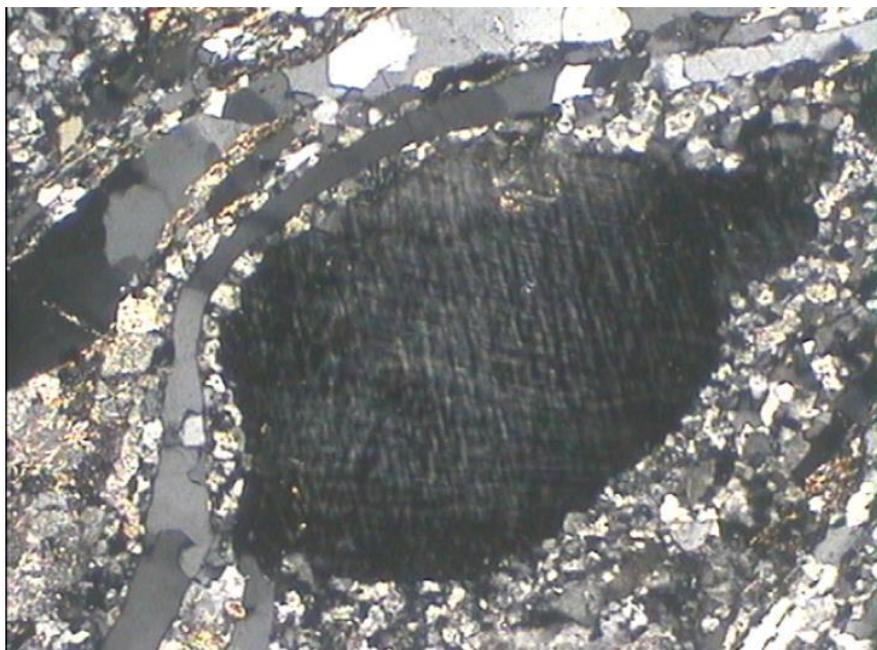
碎斑结构

### (3) 糜棱结构

当应力十分强烈时，矿物颗粒几乎全部破碎成微粒状（ $< 0.5\text{mm}$ ），并在应力作用下形成矿物的韧性流变现象，其间可残留少量稍大的刚性矿物（即碎斑，如石英），碎斑常被磨圆成眼球状。



斜长石的S型残斑结构, 双晶弯曲变形; 糜棱结构



Ultramylonite, crystallization of matrix is very poor from Inner Mongolia

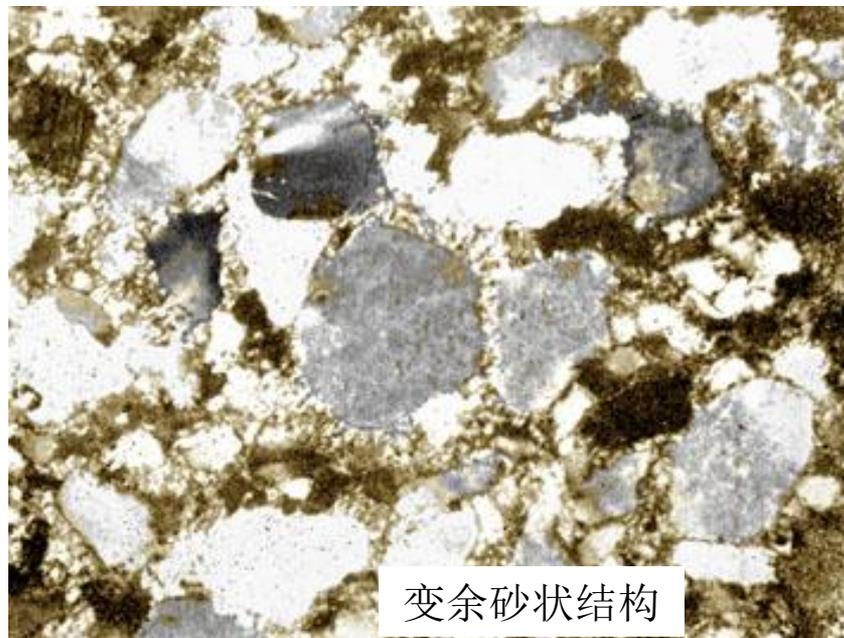
糜棱组构，条带状石英和条纹长石的亚颗粒结构

超糜棱岩

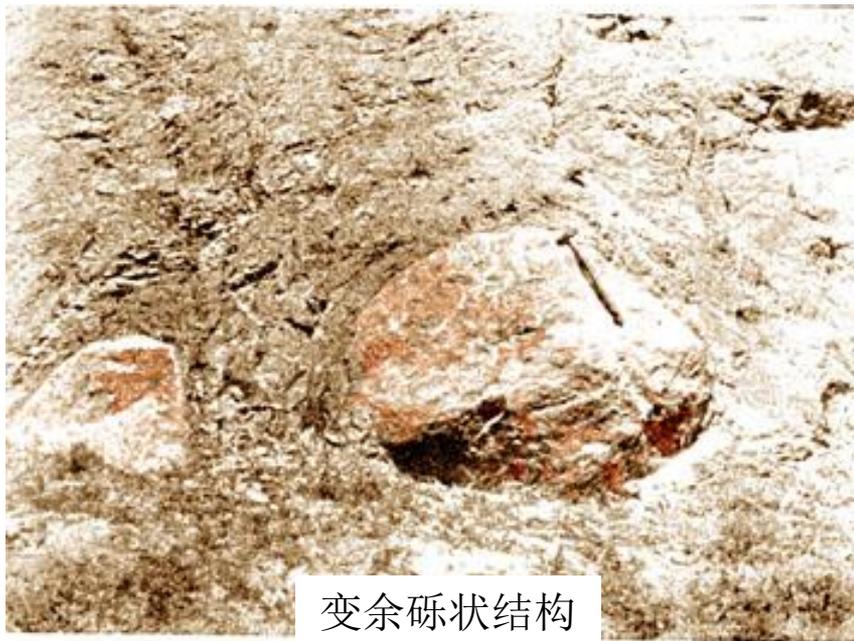
### 3、变余结构

在变质作用过程中，由于变质重结晶作用进行的不完全，一定程度地保留了原岩的结构特征，从而形成变余结构 命名一

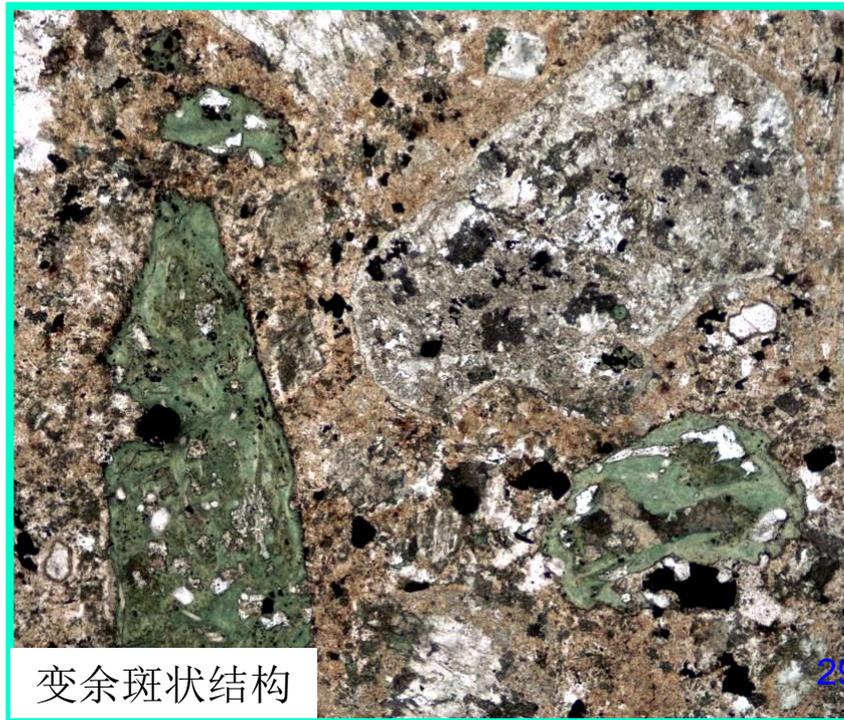
在原结构之前加“变余”二字



变余砂状结构



变余砾状结构



变余斑状结构

## 4、交代结构

交代假象结构

交代蚕蚀及交代残留结构

交代净边结构

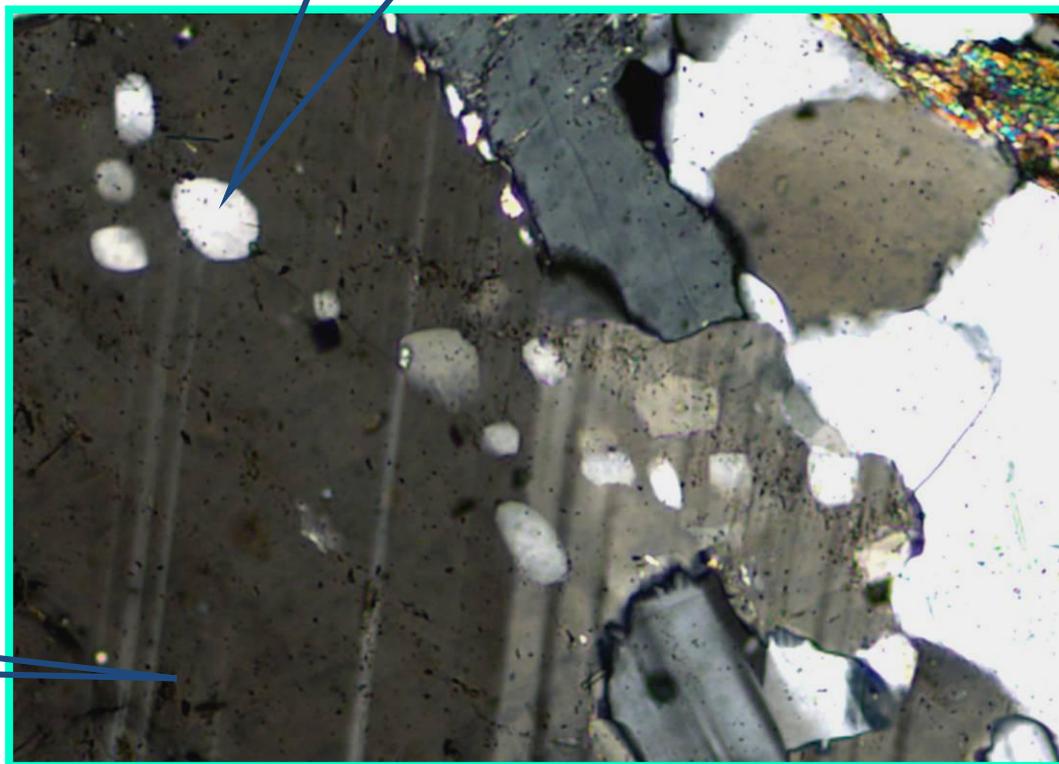
交代穿孔结构

交代蠕虫结构（透入交代结构）

## 1) 交代穿孔结构

溶液沿原有矿物的解理裂缝交代形成液滴状的新生矿物。

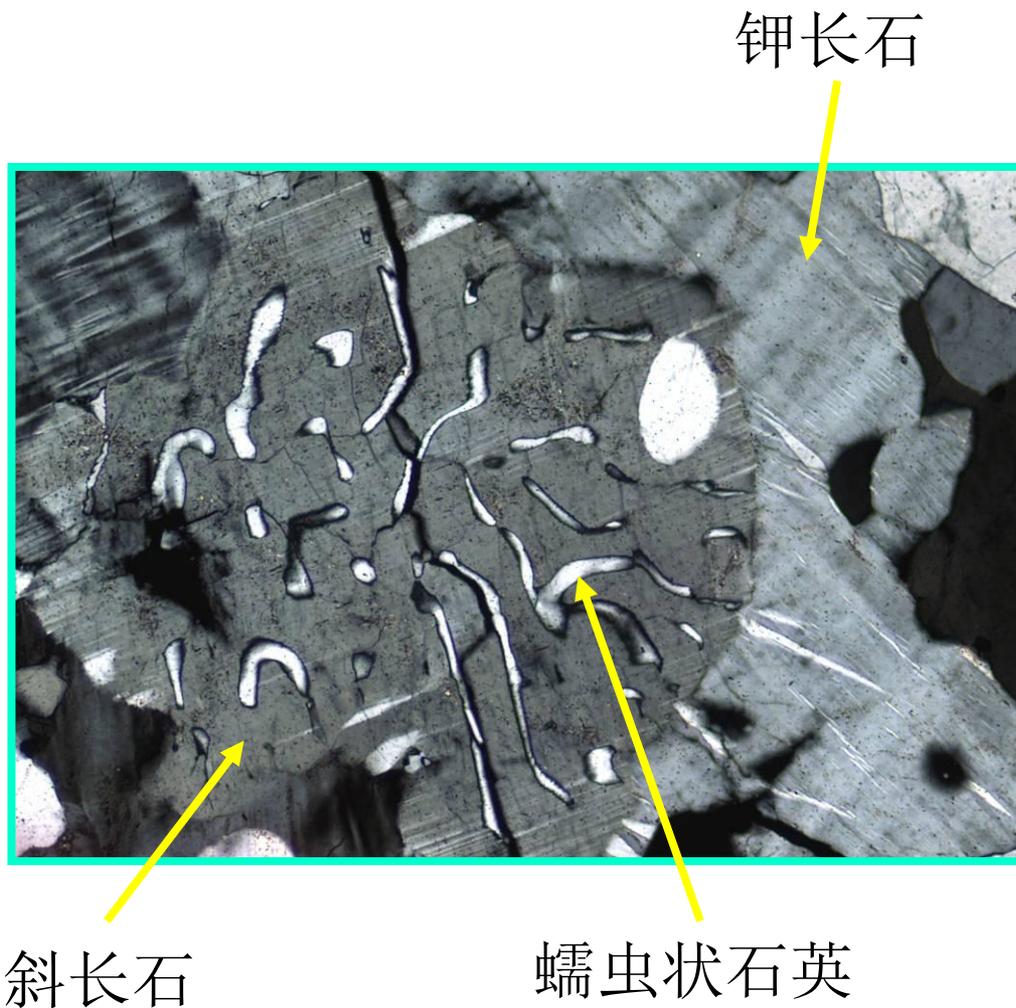
液滴状石英



斜长石

## 2) 交代蠕虫结构

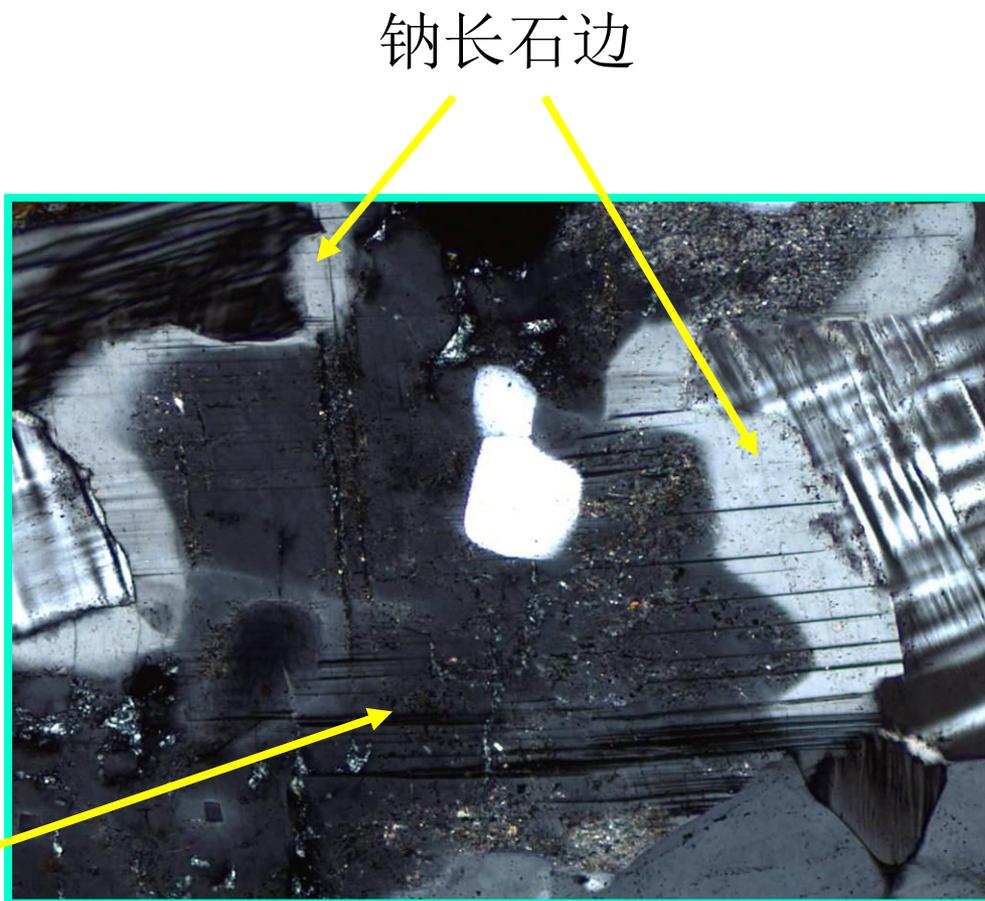
由交代作用形成的蠕虫结构，当斜长石交代钾长石时，常可见接触处的斜长石中有蠕虫状石英。



### 3) 交代净边结构

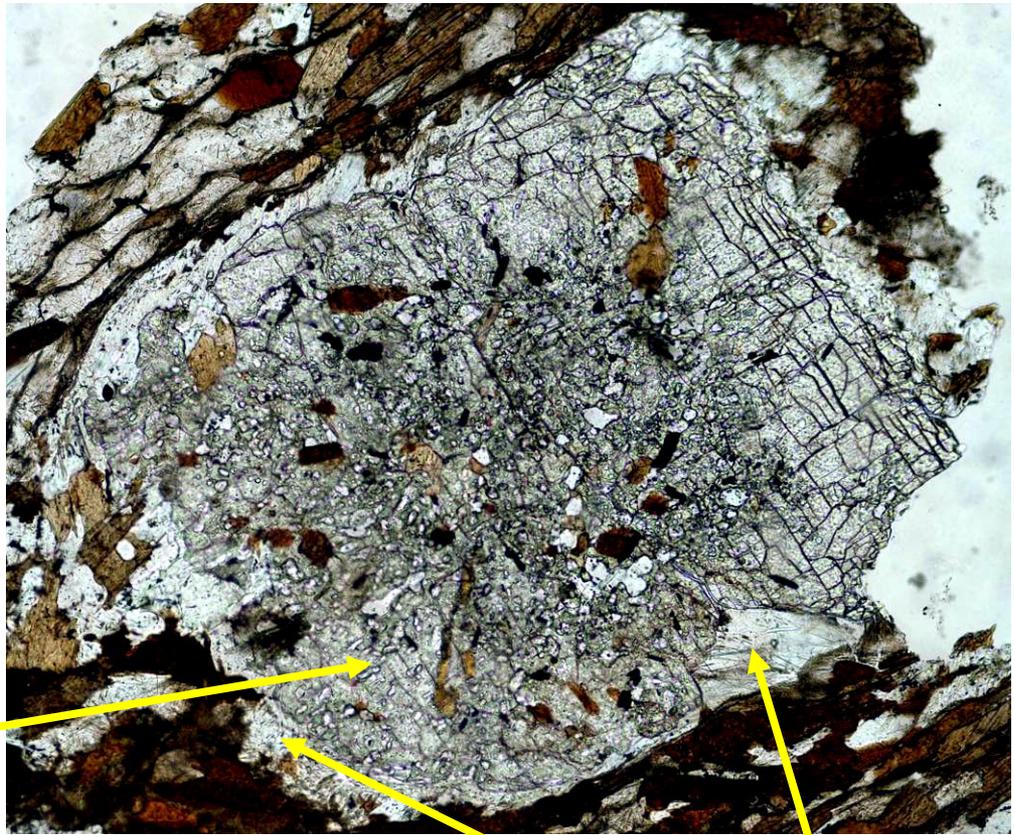
主要发育在斜长石中，蚀变的（绢云母化和粘土化）斜长石边缘可见洁净的钠长石边。

斜长石



#### 4) 交代蚕蚀结构

交代矿物以不规则的外形从边缘伸入被交代的矿物之中。

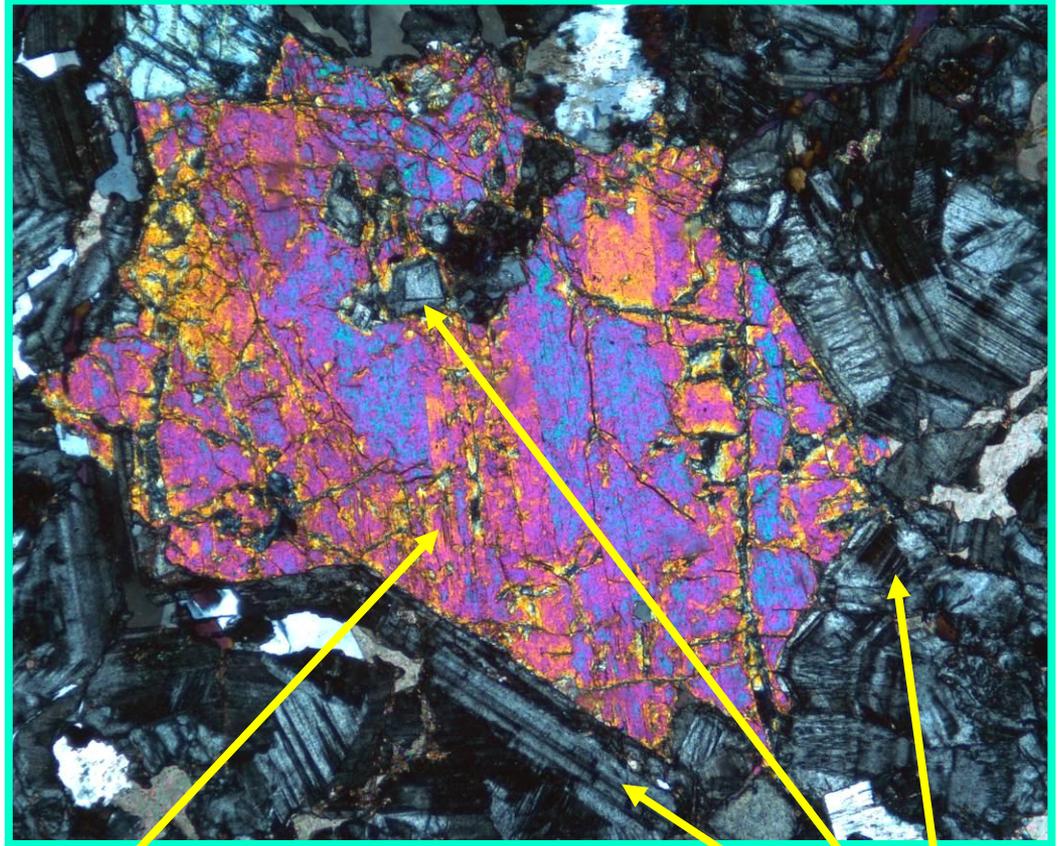


蓝晶石

白云母

## 5) 交代残留结构

当交代强度进一步发展，在新的交代矿物中残留了零星的孤岛状的被交代矿物；这些零星的残留矿物仍保持同一光性方位。



绿帘石

钙铝榴石

## 6) 交代假像结构

原来的矿物被新生的交代矿物完全取代，但仍保持原来矿物的形态、晶形。



绢云母+石英集合体呈长石板状晶形假象

## (二) 变质岩的构造

压力 ➡ 变质岩的构造总的特点——

是绝大多数变质岩都具有定向构造

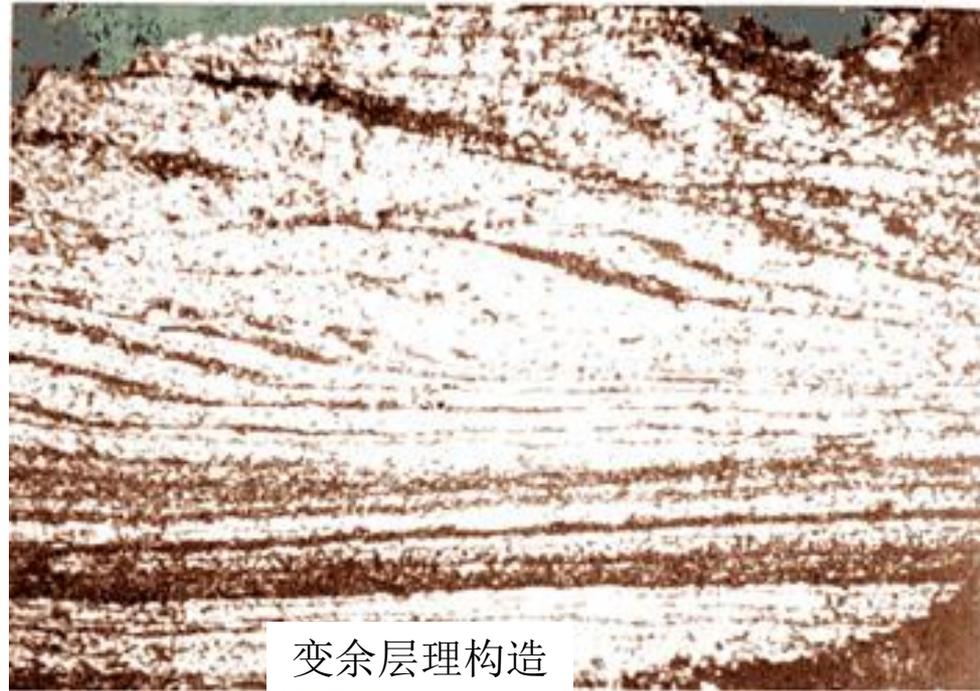
变质岩的构造按成因可分为三类：变余构造、变成构造、混合构造

### 1、变余构造——↓

是指岩石经变质后，仍保留着原岩的某些构造特点的现象。

正变质岩中常见的有：变余气孔构造、变余杏仁构造、变余流纹构造、变余枕状构造、变余斑杂构造，等。

副变质岩中常见的有：变余层理构造、变余斜层理构造、变余韵律层理构造、变余泥裂构造、变余波痕构造，等。



变余层理构造

## 2、变成构造

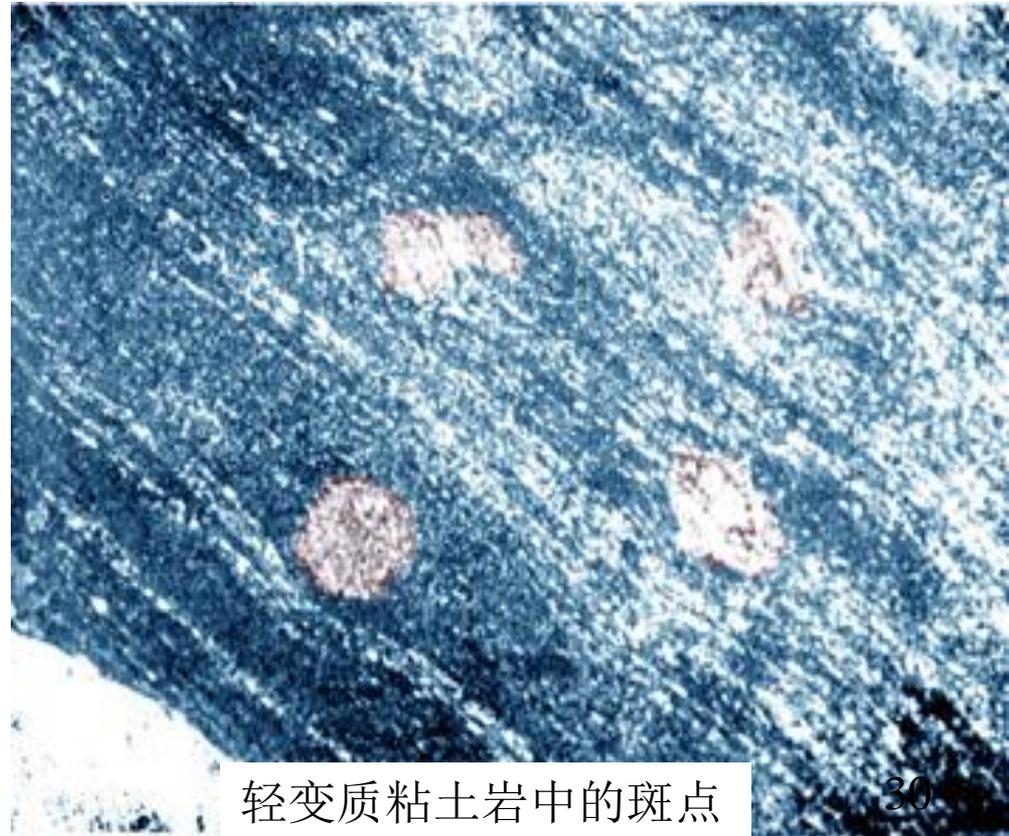
在变质作用过程中，由变质结晶作用和变质重结晶作用所形成的构造

### (1) 斑点状构造

斑点：碳质、硅质、铁质或红柱石、堇青石、云母等矿物的雏晶

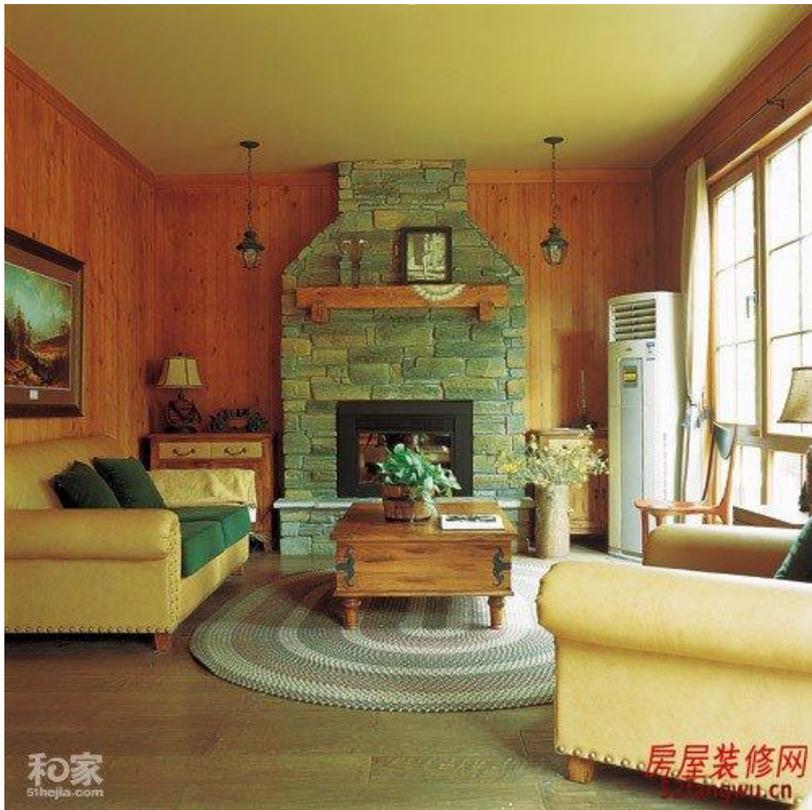
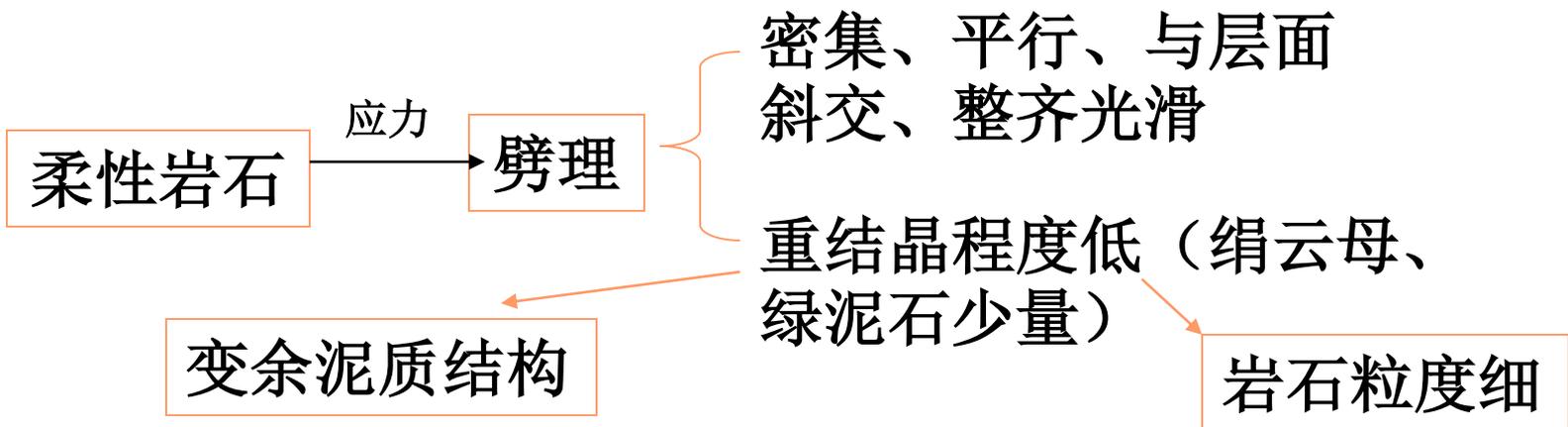
变基质常为隐晶质

→变基质



轻变质粘土岩中的斑点

# (2) 板状构造



### (3) 千枚状构造

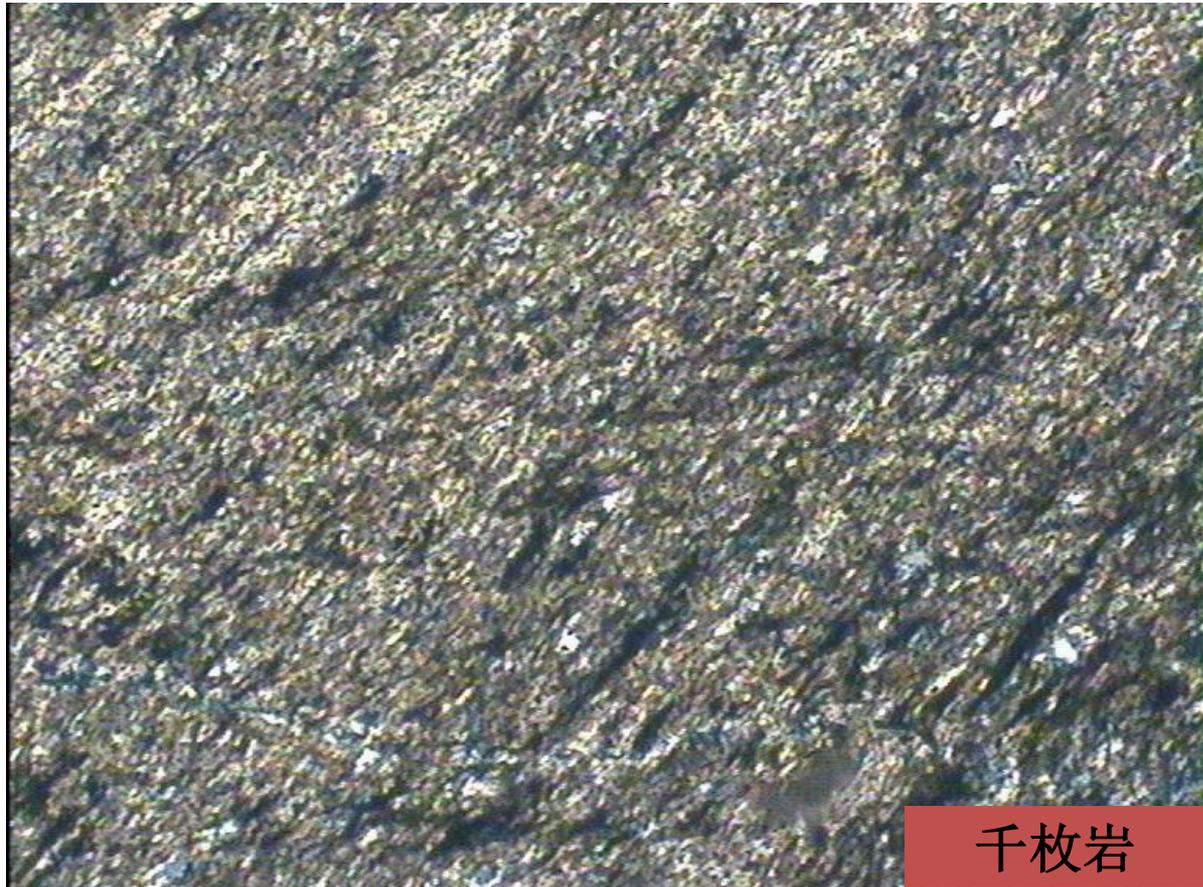
矿物结晶较强、小片状矿物已具初步定向排列

强烈的丝绢光泽

常出现许多小皱纹

颗粒细小  
肉眼不能分辨

绢云母  
绿泥石



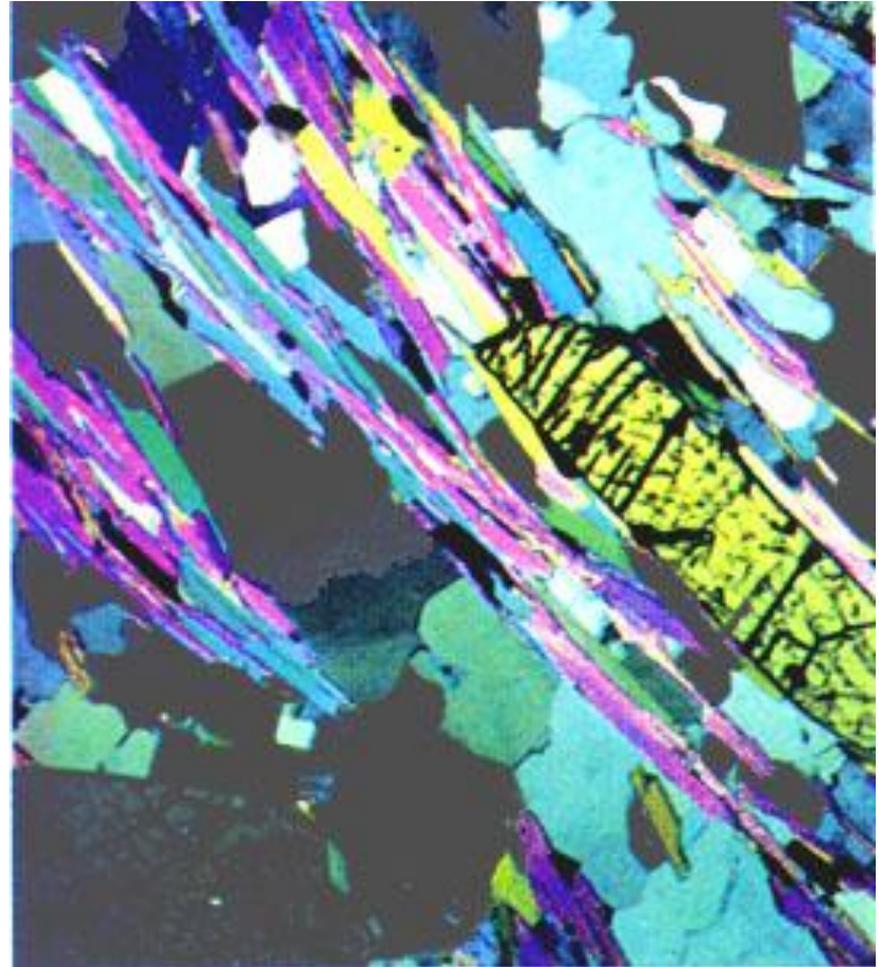
千枚岩

## (4) 片状构造

——变质岩中最常见、最典型的构造

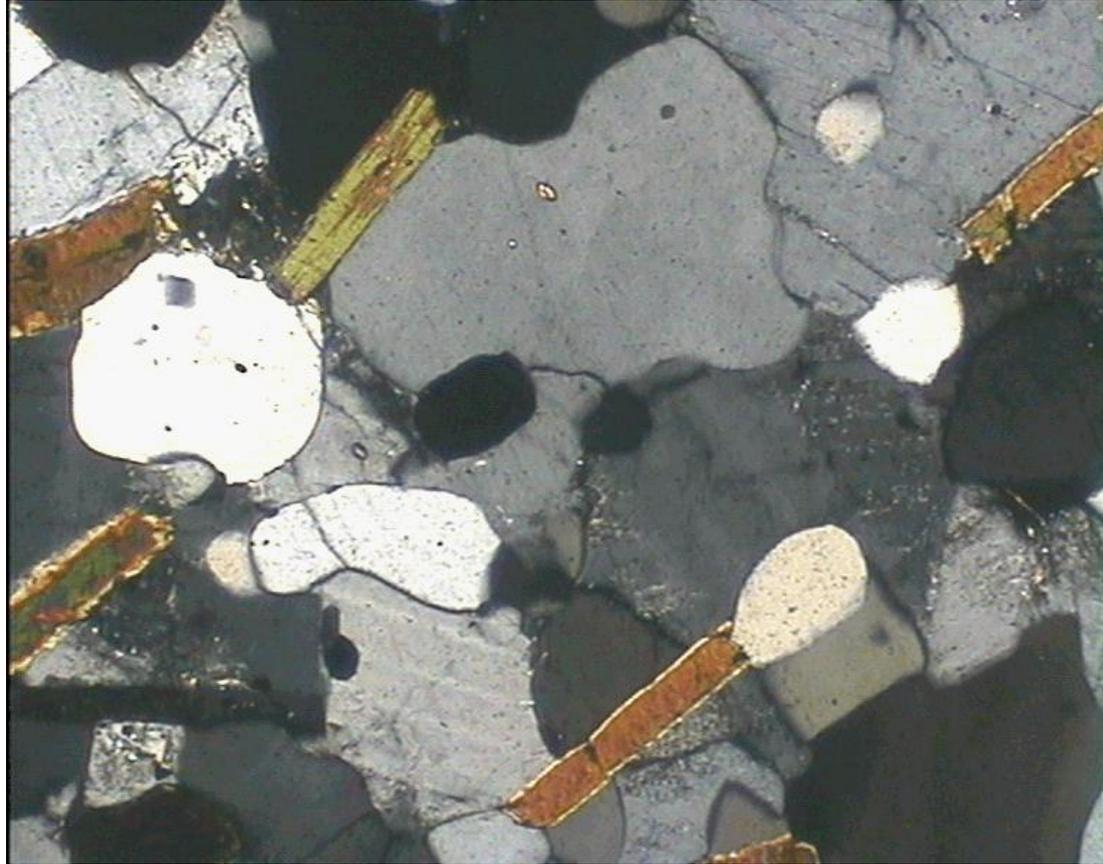
### 特点

- a. 矿物结晶程度较好--显晶质粒状变晶结构（大于0.1mm）
- b. 片状矿物大于30%。
- c. 岩石中所含的大量片状、粒状矿物都呈连续定向排列



## (5) 片麻状构造

- a. 显晶鳞片粒状变晶结构，变晶矿物颗粒大于1mm
- b. 粒状矿物为主，片状矿物常小于30%。
- c. 片状矿物呈断续定向排列



花岗片麻岩

## (6) 块状构造

岩石中矿物均匀分布，结构均一，无定向排列，这种构造称为块状构造



块状构造

### 3、混合构造

由早期中高级变质岩基体和长英质成分的脉体组成的构造，是混合岩特有的构造。

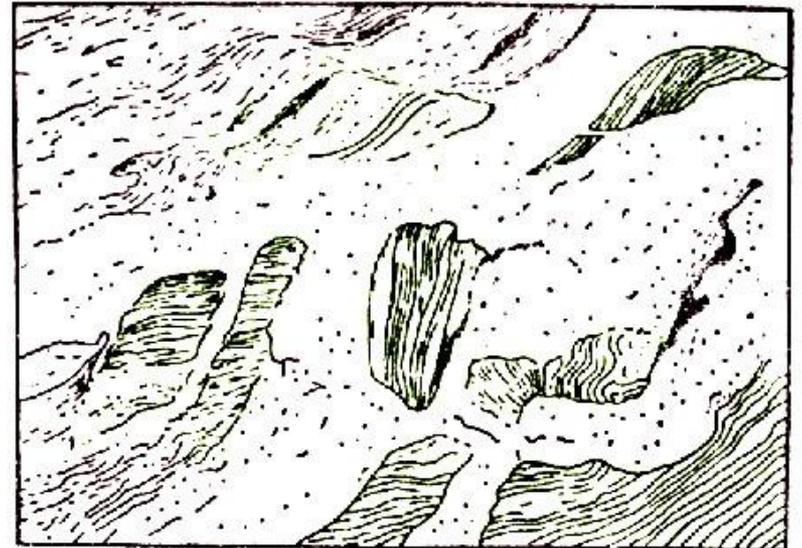
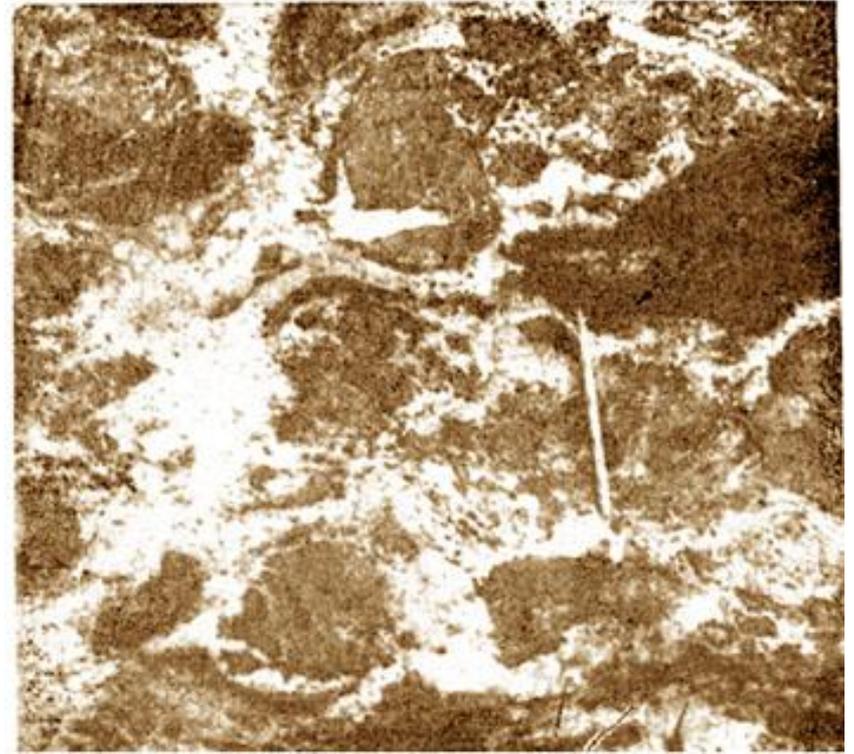
基体

脉体



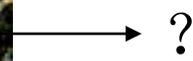
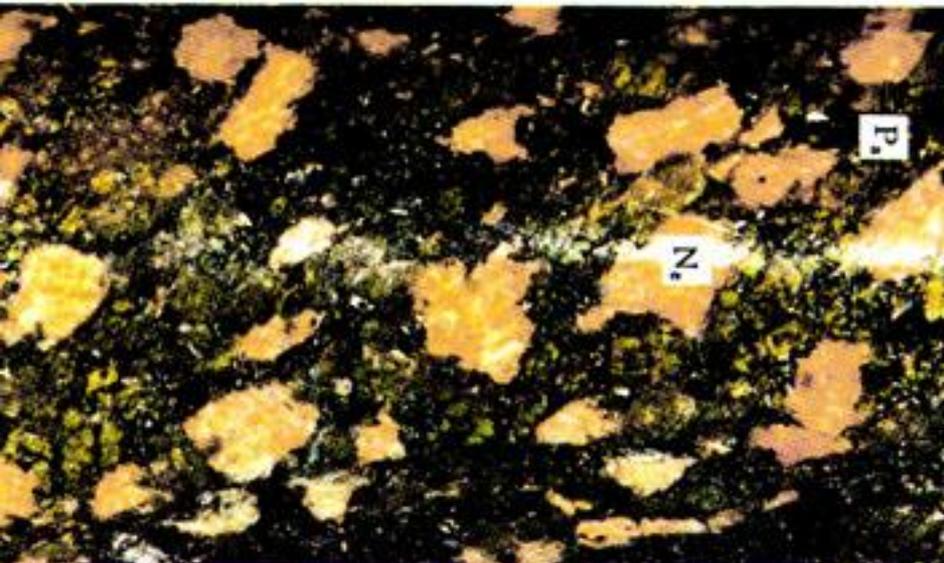
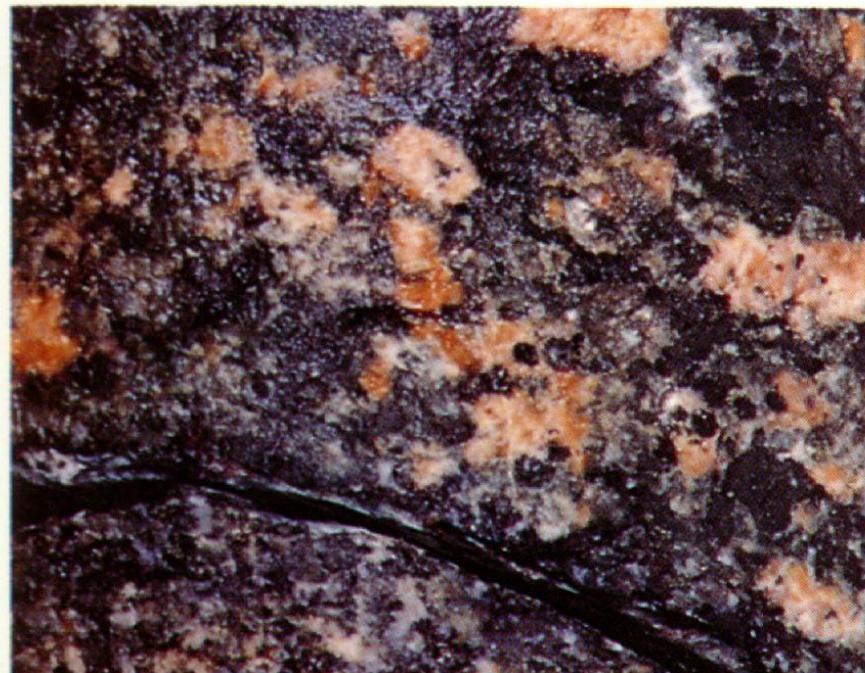
网脉状构造  
眼球状构造  
条带状构造  
肠状构造

根据脉体形状

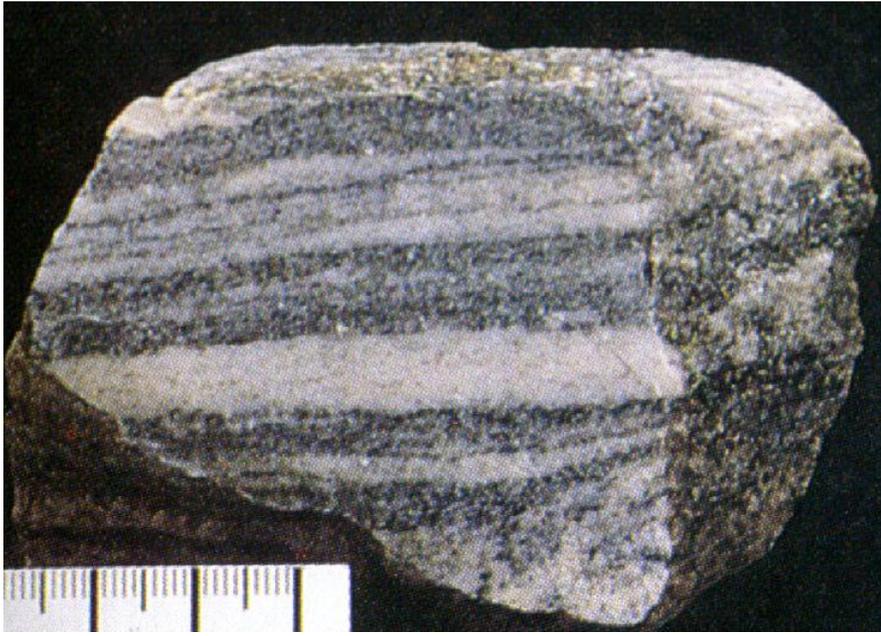


网脉状构造

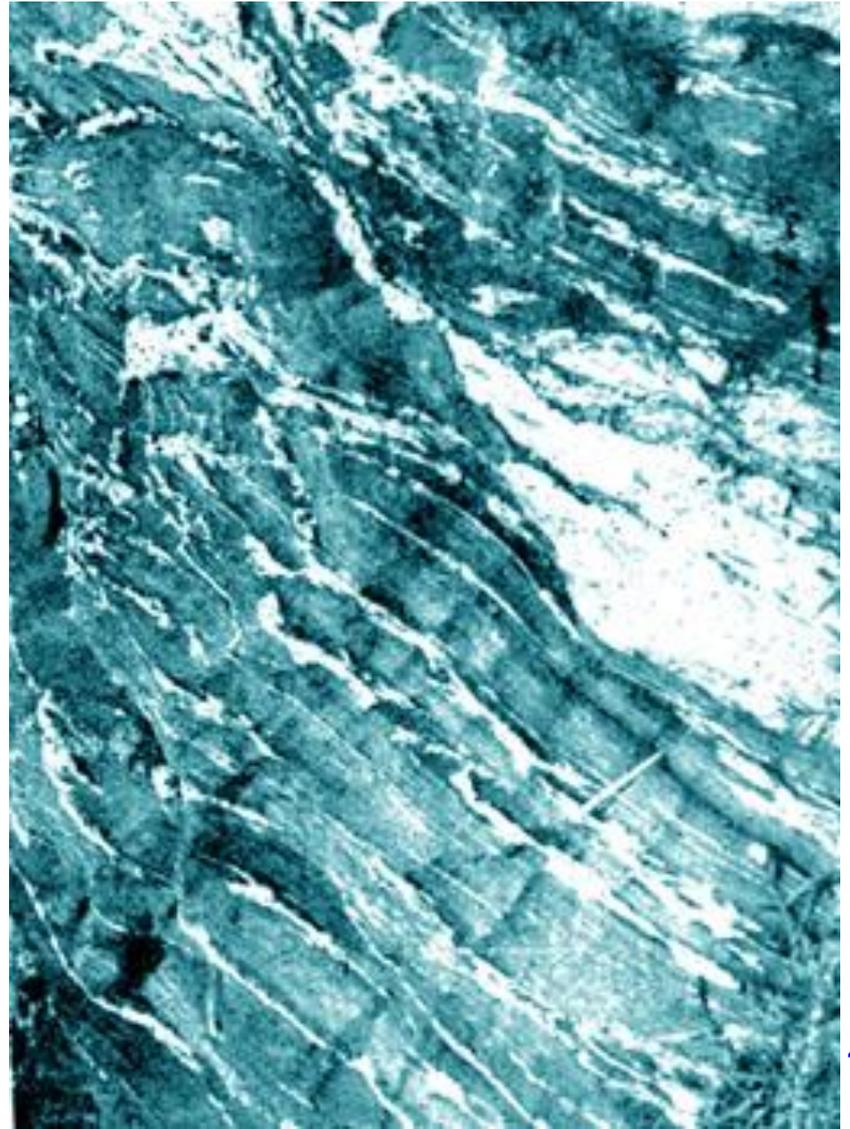
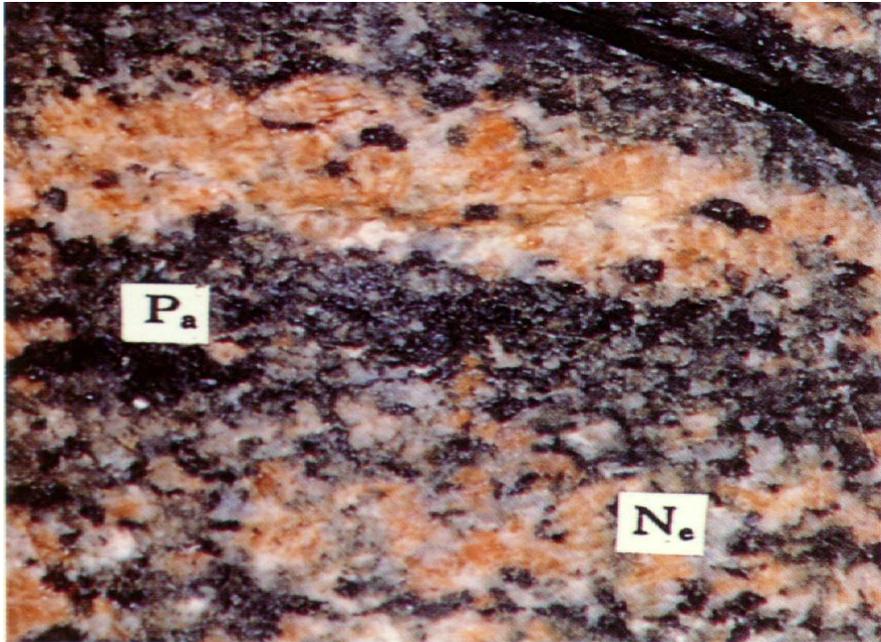
→ ?

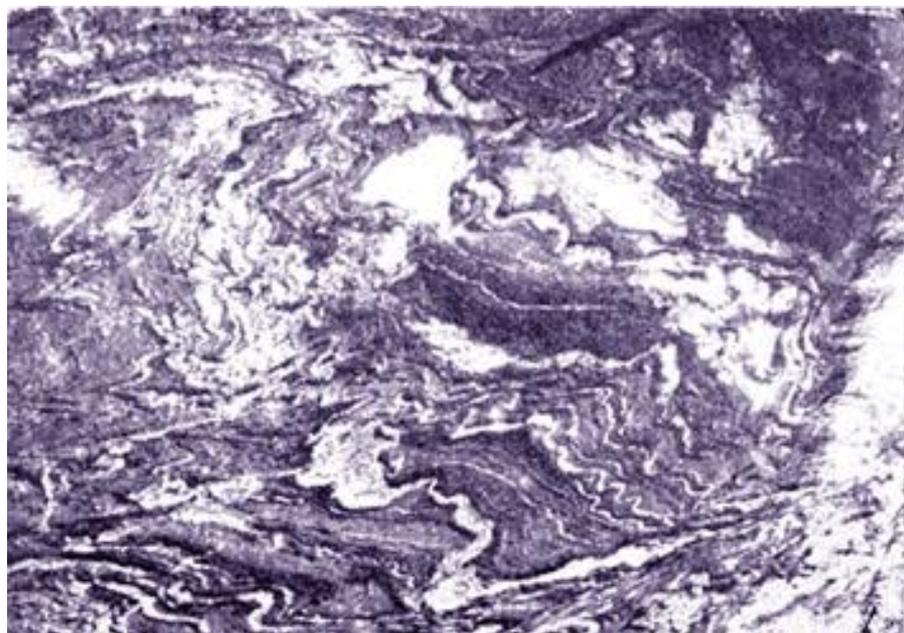
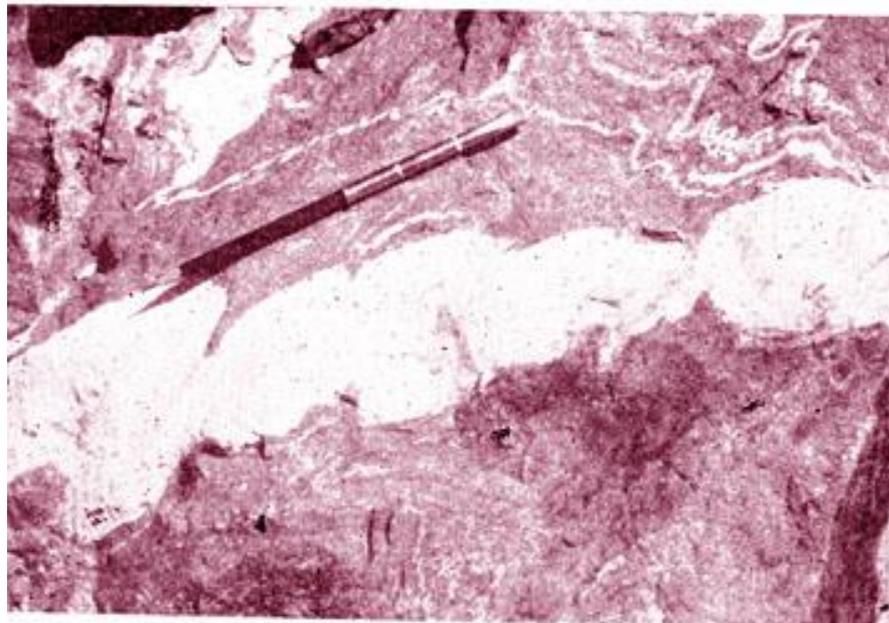


? 眼球状构造



——→ ? 条带状构造





——→ ? 肠状构造

——→ 变质岩的分类

# 三、变质岩的分类

按变质岩的原岩成份类型：

- 石英长石质岩类** 原岩可能相当于碎屑岩、酸性岩浆岩和火山碎屑岩， $\text{SiO}_2$ 含量高， $\text{MgO}$ 、 $\text{FeO}$ 含量低
- 泥质岩类** 原岩可能相当于粘土质沉积岩及部分中酸性岩浆岩和火山碎屑岩，特点是 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 含量高
- 碳酸盐岩类** 原岩相当于石灰岩和白云岩，在成份上以 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 含量高为特征
- 基性岩类** 原岩相当于中基性、基性岩浆岩和火山碎屑岩等，富含 $\text{MgO}$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$
- 镁质岩类（超基性岩类）** 原岩相当于超基性岩和富含铁、镁质的沉积岩，岩石中富含 $\text{MgO}$ 、 $\text{FeO}$

### 三、变质岩的分类

根据变质作用类型：

- 动力变质岩
- 接触变质岩
- 交代变质岩
- 区域变质岩
- 混合岩