

# 第三章 动力变质作用及动力变质岩

## 一、概述

概念 变质作用因素 变质作用方式  
形成矿物 结构构造特征

动力变质岩（dynamometamorphic rock）

由动力变质作用形成的岩石。

因为动力变质作用常和构造运动有关，且以矿物的变形、破碎为主，所以动力变质岩又被称为：

构造岩 或 断层岩



提示：

未固结的断层透镜体、角砾和断层泥不属于“岩石”的范畴！

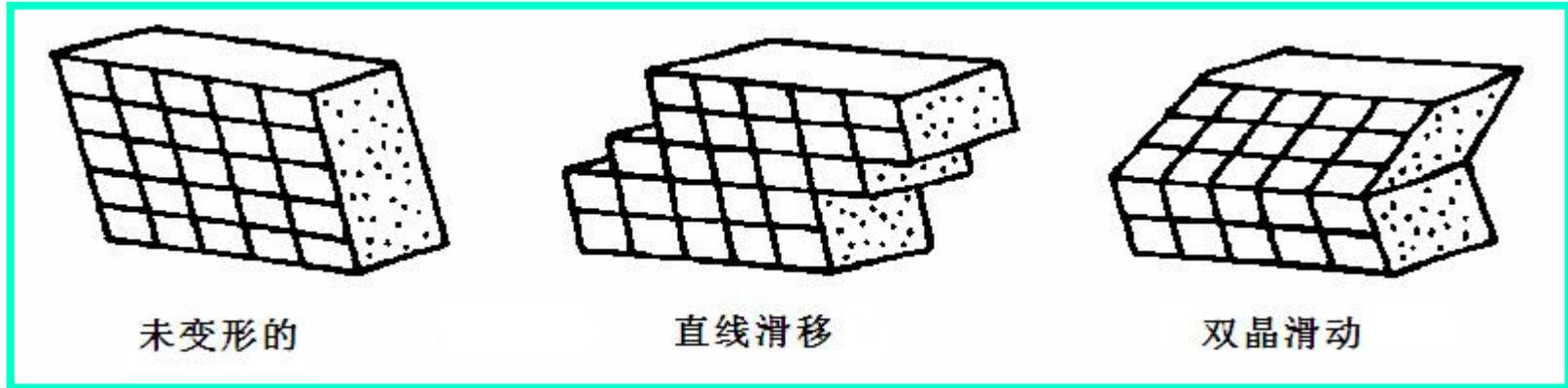
# 一、概述

动力变质作用引起岩石的矿物成分、结构和构造发生改变。这些变化与**应力**的性质、强度和作用的时间长短和**岩石本身的性质**有关。

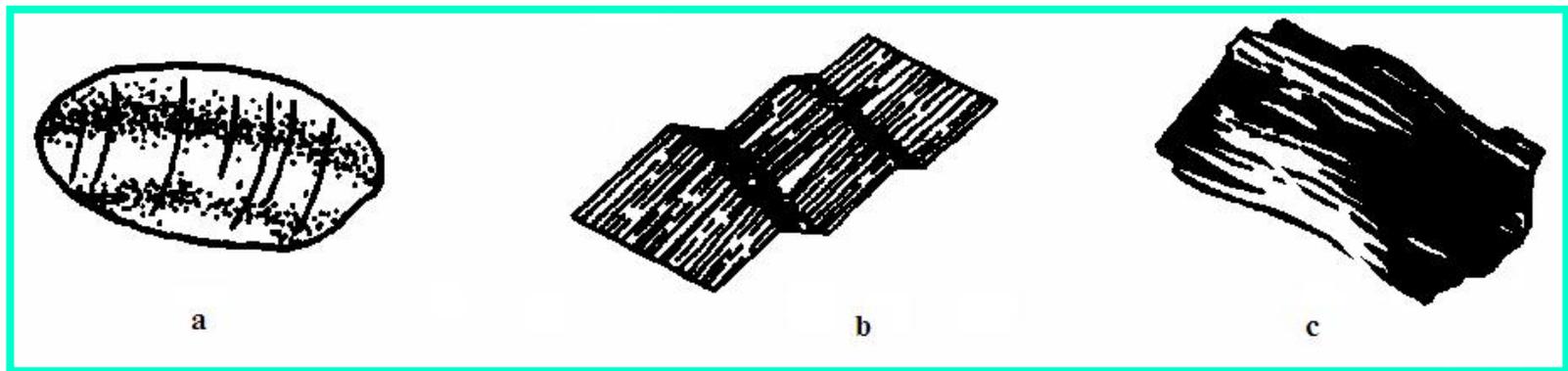
由于岩石和矿物力学性质的差异，在应力作用下可发生**韧性变形**或**脆性变形**。

**韧性变形**可以通过多种机制表现出来，常见的有矿物的波状消光、粒内滑移（直线和双晶滑移）、扭折、变形双晶等。

# 一、概述



## 粒内滑移的宏观变化



a. 石英波状消光及裂纹; b. 云母的扭折; c. 斜长石的变形双晶

## 一、概述

韧性变形和脆性变形是可以过渡和转化的。

目前一般认为，在**地壳浅处**（浅构造层次，通常在地下 $<4\text{km}$ ），围压较小，温度较低，以**脆性变形**为主；

在**中—深构造层次**（地下 $>10\text{km}$ ）以**韧性变形**为主。 Sibson R.H.（1977）认为，由韧性变形形成的长英质糜棱岩，其形成深度大于 $10\text{km}\sim 15\text{km}$ 。

# 动力变质岩分类一览表

碎 裂 特 征		岩 石 类 型
碎 裂 的	具破碎角砾结构	
	具碎裂结构 或碎斑结构	碎基含量 <50%
		碎基含量 >50%
糜 棱 的	重结晶物质 的含量(%)	<10
		10—50
		50—90
		>90
	玻状的和玻化的	
		破碎角砾岩(构造角砾岩)
		碎 裂 × × 岩
		碎 裂 岩
		糜棱岩和超糜棱岩
		千枚糜棱岩或千糜岩
		糜棱千枚岩
		糜棱片岩或片岩
		玻状岩和假熔岩

→ 接触变质岩

## 二、主要的动力变质岩

### 1. 构造角砾岩（tectonobreccia）

原岩破碎成角砾状，角砾间为破碎细屑充填。属脆性变形程度较弱的岩石。按应力性质可分为：

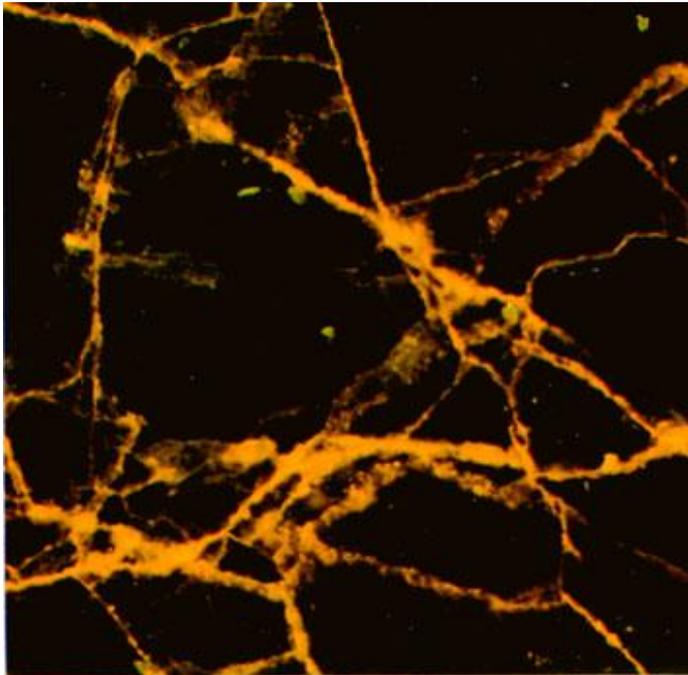
**张性角砾岩**（角砾大小不一，边缘不整齐，排列杂乱，常有外源碳酸盐质、硅质、铁质等胶结物）；

**压性或压扭性角砾岩**（角砾因挤压磨蚀而有圆化现象，略呈定向排列，外源胶结物较少）。

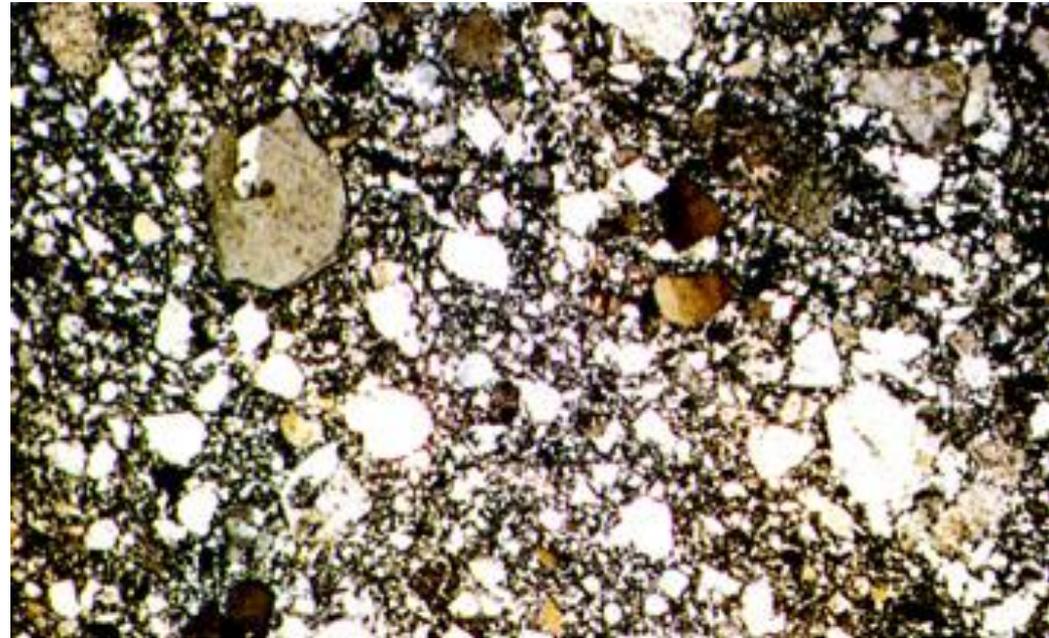
## 二、主要的动力变质岩

2、碎裂岩：具碎裂结构及碎斑结构的岩石称为碎裂岩。它是原岩在较强的应力作用下，受到挤压破碎而形成。粒化程度低，仅出现于颗粒边缘；重结晶微弱，无变晶矿物形成，碎裂岩在成分上和原岩相同。

命名原则：在原岩名称之前+“碎裂”二字



照片160 碎裂缝含油



长英质碎裂岩

→ 糜棱岩

### 3、糜棱岩 (mylonite)

具糜棱结构和定向构造、条带状构造的岩石，称为糜棱岩

断裂带两侧岩石

压扭应力

岩石发生错动、研磨粉碎 (0.5-0.2mm)

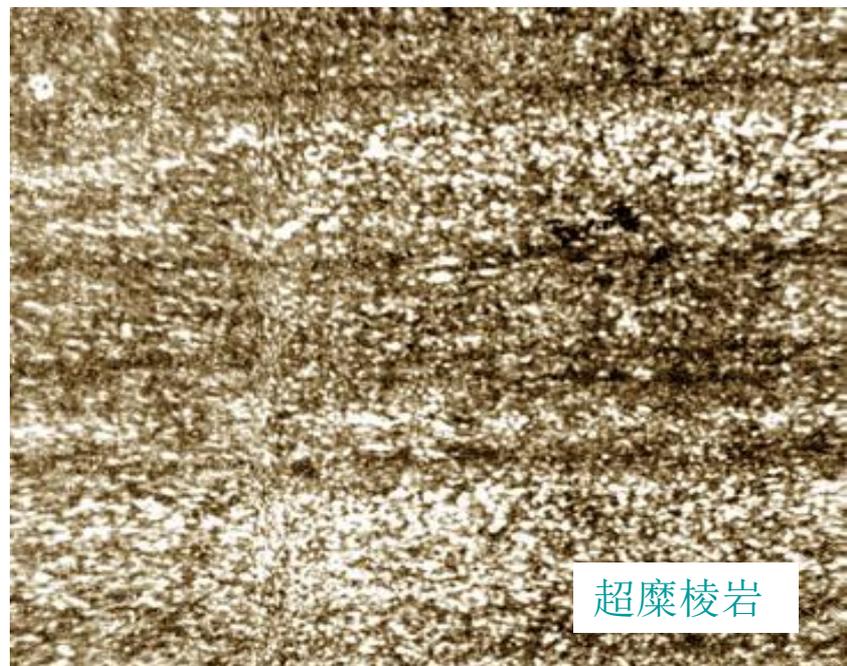
由极细的颗粒组成

常见的矿物组合式石英+长石

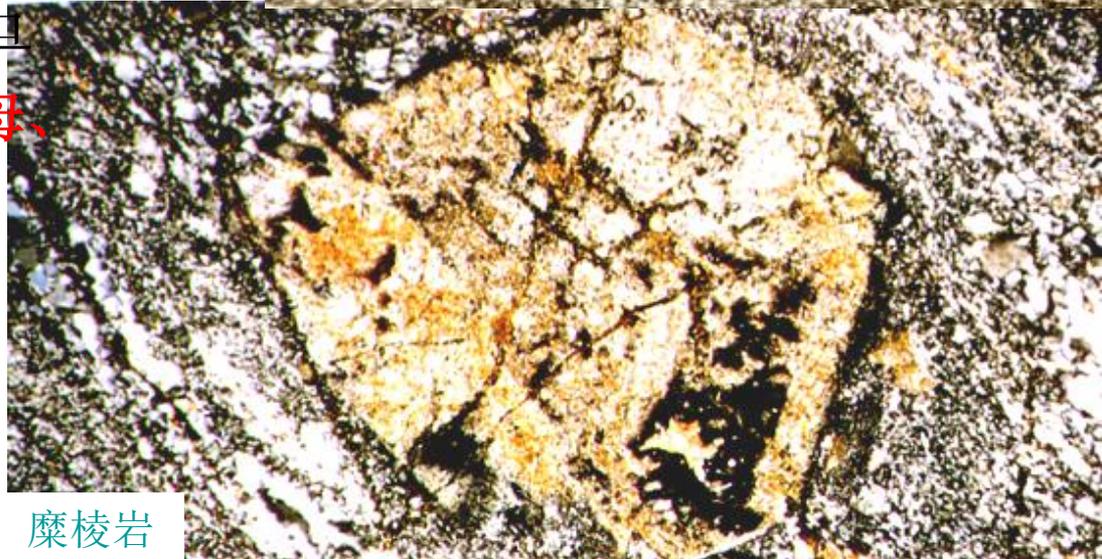
**新生矿物常见:绿泥石、绢云母、滑石、蛇纹石**

岩性致密坚硬

具明显的带状构造及眼球状构造



超糜棱岩



糜棱岩

→ 千糜岩

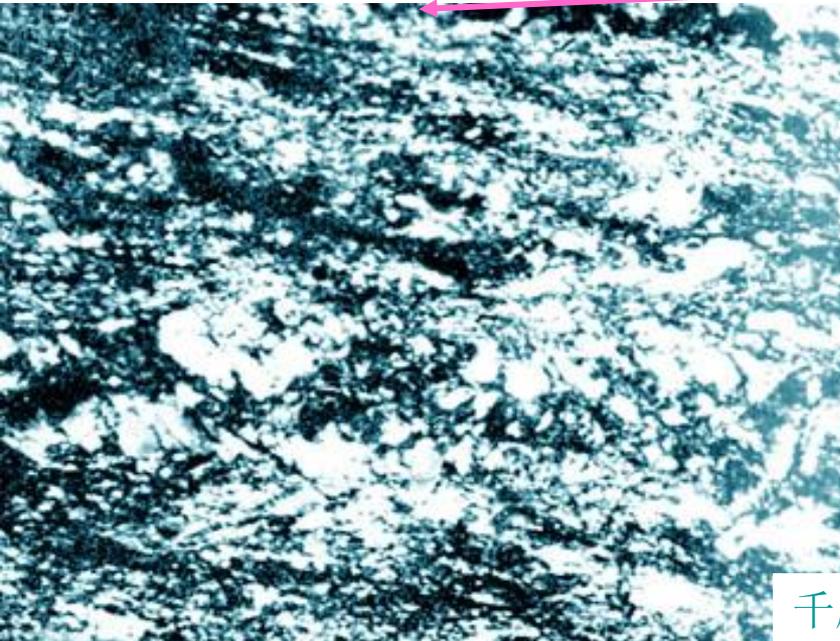
## 4、千糜岩（千枚糜棱岩）

千糜岩是一种变质程度较深的、具有千枚状构造的糜棱岩。

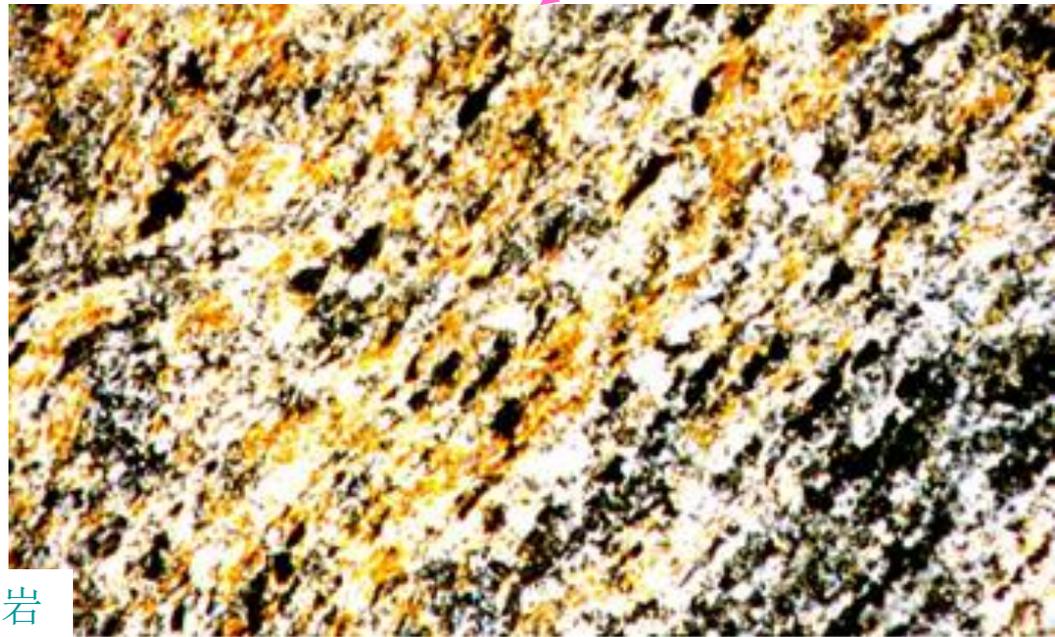
和千枚岩相似，都具千枚状构造，但其成因并不是区域变质，而是强烈的挤压破碎作用

千糜岩是应力强度进一步加大，  
动态重结晶作用加强的结果，  
重结晶矿物：10—50%

磨碎较细的物质重结晶成绢云母、绿泥石等矿物，并定向分布，形成千枚状构造



千糜岩



→ 构造片岩

## 二、主要的动力变质岩

### 5. 假熔岩（buchite）

也称假玄武玻璃（pseudotachylite），这是脆性（或韧脆性）变形条件下高速应变形成的极细的粉尘状颗粒或（和）受瞬间构造高温熔融成玻璃质构成的黑色致密具流状构造的岩石。通常形成于中—浅构造层次的压性、压扭性断裂带中。

新疆北山、河南桐柏等有假熔岩出露。



南非弗里德堡（Vredefrot）陨石坑中心的假熔岩



假熔岩（黑色）与花岗片麻岩的混合

# 第四章 接触变质作用及接触变质岩

## 一、接触变质作用

### 1、概念

### 接触变质作用及接触变质岩

接触变质带-接触变质作用所影响的范围

→ 内外变质带

内变质作用

外变质作用

内变质带

外变质带

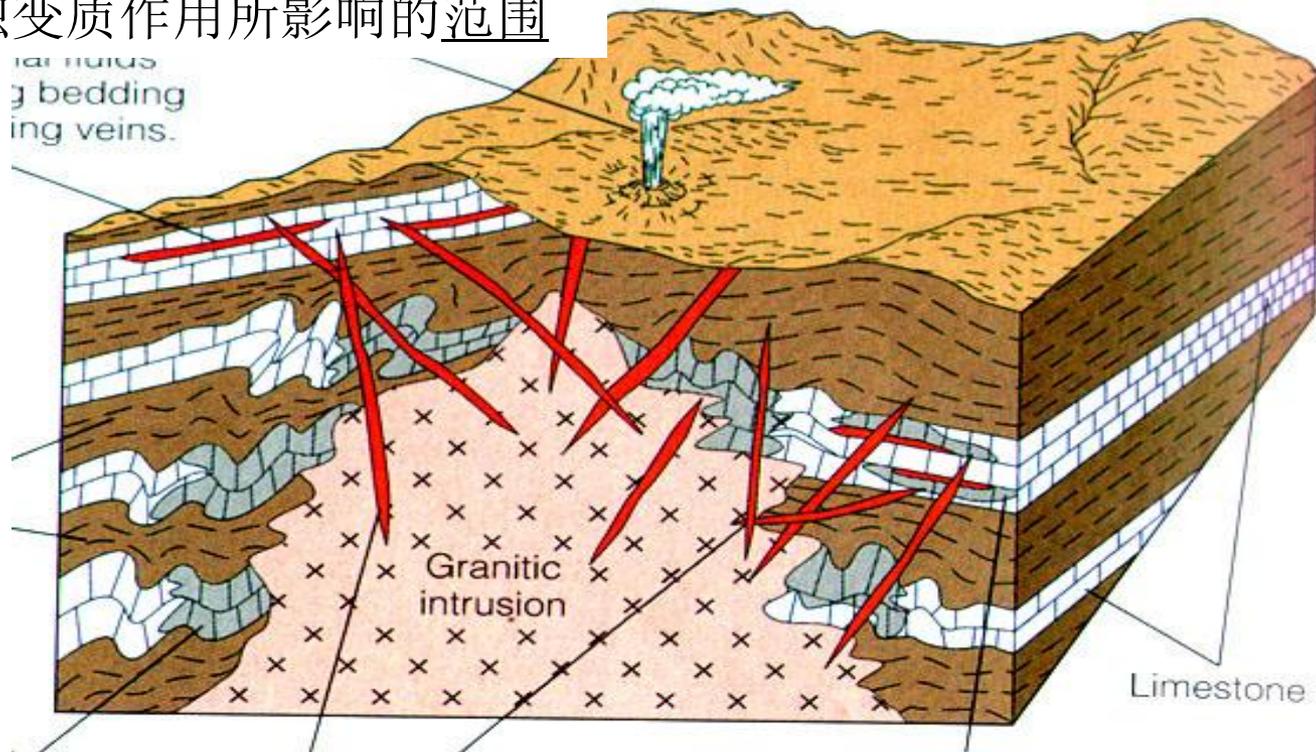
## 2、影响因素

侵入体规模大小

侵入深度

侵入体成分

围岩的成分、结构及产状



→ 分类

### 3、分类

- 热接触变质作用
- 接触交代变质作用

## 二、热接触变质岩

1、概念 → 接触带附近，由于温度升高使原岩发生重结晶作用而形成的岩石

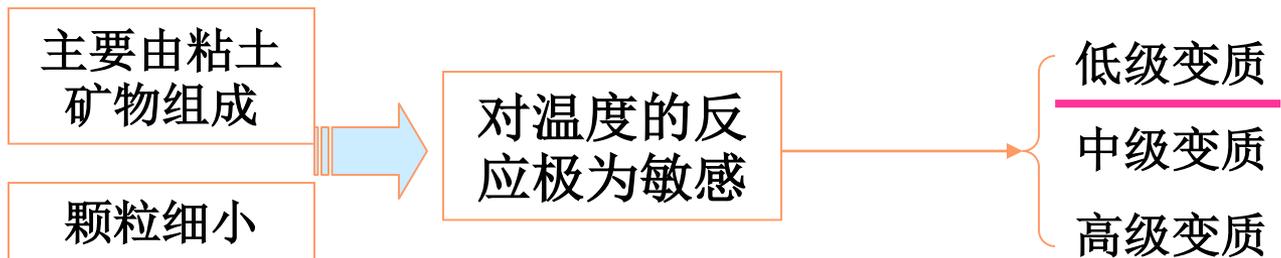
2、控制因素 原岩成分及变质时的温度

变质矿物成分及重结晶的难易程度

3、变质作用等级（一般分为低、中、高三级）

# 4、热接触变质岩的类型

## (1) 粘土岩的接触变质作用及其岩石



### A 粘土岩的低级热变质及其岩石

温度大于150度



有机质—石墨—黑色斑点

褐铁矿—磁铁矿

高岭石—石英和红柱石

高岭石+绿泥石—堇青石

隐晶质结构

斑状变晶结构、变余泥质结构

斑点状构造、斑状构造



斑点板岩、红柱石板岩



→ 中级变质

## B、粘土岩的中级变质及其岩石

多位于接触变质带的中部

温度较高

角岩结构

**角岩结构**是指一种颗粒细小的粒状变晶结构或显微变晶结构，通常由细粒的石英、长石和云母等组成，颗粒间镶嵌紧密，片理不显著，很相岩浆岩的细晶结构

↔ 角岩

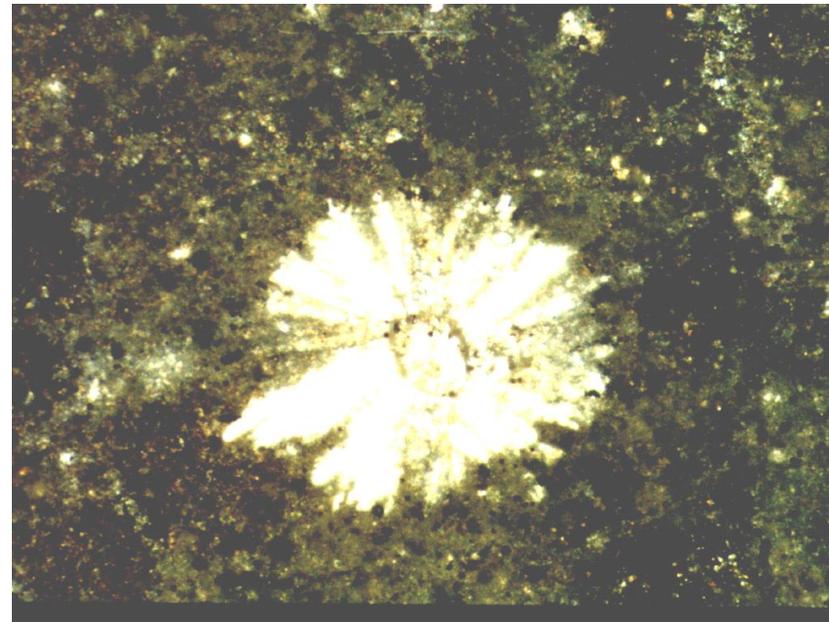
变斑晶有：红柱石、石榴石、堇青石、矽线石等

## C、粘土岩的高级变质作用及其岩石

距岩体近  
受热时间长

变质程度高

片麻岩



## (2)碳酸盐岩的热变质作用及其岩石

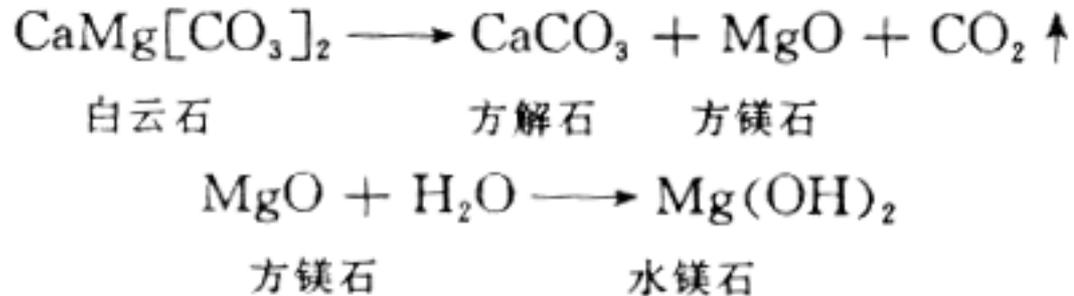
➤ 石灰岩：重结晶（大理岩）

➤ 低硅石灰岩：低-中级变质，分别重结晶形成石英大理岩

高级变质：硅灰石大理岩， $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$

➤ 白云质灰岩或者白云岩：低中级变质，分别重结晶

高级变质，一去白云石化，方镁石大理岩





# 接触变质岩岩石类型和原岩的关系

岩石类型	组分特征	变质程度		
		低级	中级	高级
粘土岩	粘土矿物	斑点板岩	红柱石、堇青石、石榴石、十字石角岩	矽线石、石榴石片麻岩
		空晶石(红柱石)板岩		
碳酸盐岩	方解石(石灰岩)	石英大理岩		硅灰石大理岩
	白云石(白云岩)	白云岩(重结晶)		透闪石、透辉石大理岩
砂岩	石英砂岩、长石砂岩	变余砂岩		石英岩
	杂砂岩	变余砂岩		黑云母、石榴石石英岩
岩浆岩	侵入岩	因其形成温度高, 热接触对其影响不大		
	喷出岩	酸性: 长英质角岩—石英、长石、黑云母		
		基性: 角岩—透辉石、斜长石、黑云母		

# 第五章 交代变质岩类

## 一、概述

交代变质岩是在气水热液（或称热液）的作用下，已存在的岩石主要通过交代作用使岩石的化学成分、矿物成分和结构、构造发生变化，形成的新的岩石。又称为气—液变质作用或蚀变作用。

流体  
来源

岩浆中挥发组分

与岩浆无关的区域性分布的热水

# 交代作用的方式

## (1) 渗透交代作用

组分呈真溶液或胶体状态借助裂隙溶液的流动被搬运、迁移（即组分随介质一起迁移）。迁移的驱动力是压力差，与组分本身在溶液中的浓度无关。渗透的速度与溶液本身的密度、粘度及通道的宽度和形态有关。渗透交代作用的规模较大，可影响到几公里

## (2) 扩散交代作用

组分的迁移是通过在不流动的孔隙溶液中的扩散作用方式进行的。组分迁移的驱动力是不同部位的**浓度差**，即由浓度高的部位向浓度低的部位迁移。扩散速度还与温度有关。扩散作用是通过矿物晶格或沿矿物颗粒表面进行的，**一般只能影响几米宽的范围内，规模较小。**

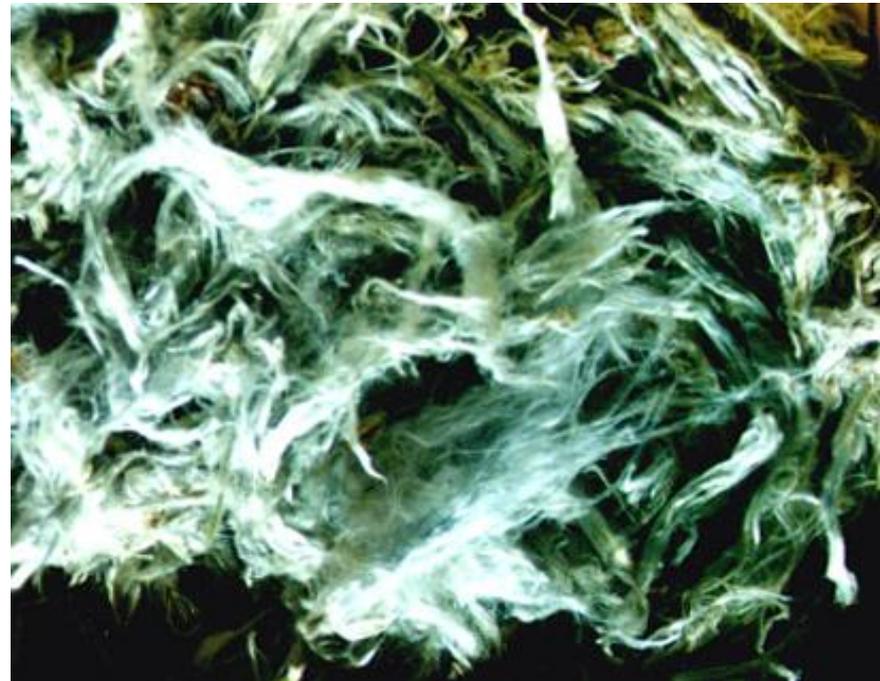
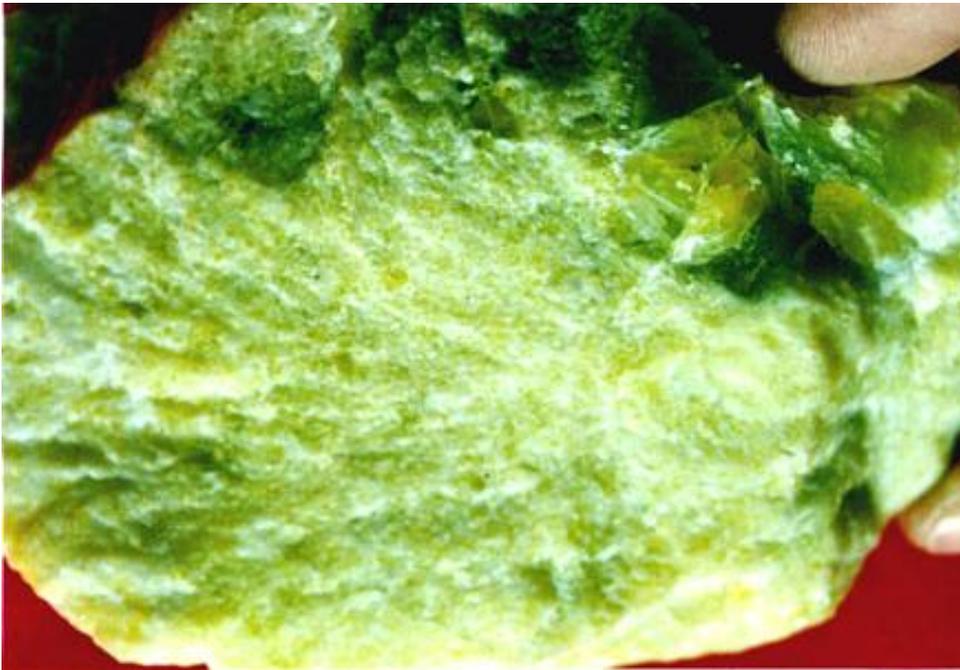
## 二、主要交代变质岩

### 1、蛇纹岩

超基性(富镁质)岩，经气液交代作用，使其中的橄榄石和部分辉石转变成蛇纹石，形成蛇纹岩。

**颜色：**常呈暗绿、黄绿等色

**矿物成分**比较简单，主要由各种蛇纹石组成





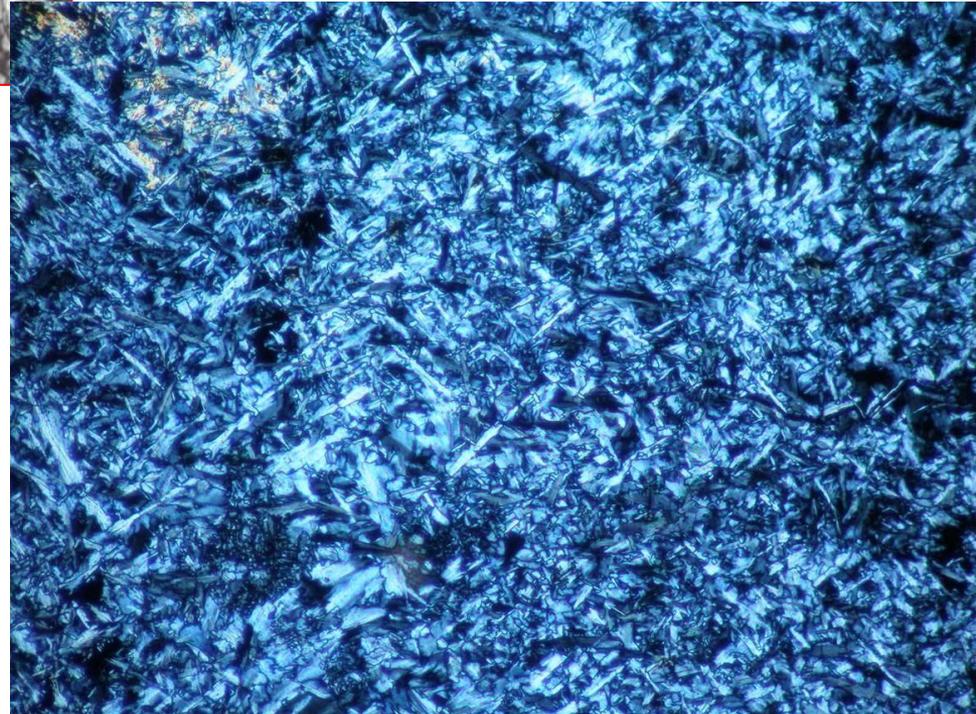
编号: MN 1  
重量: 5公斤



致密状蛇纹岩

纤维状蛇纹岩





## 2、青磐岩

- ◆ 青磐岩是**中基性火山岩（安山岩）**及火山碎屑岩，经气液变质作用，形成外貌为绿色的块状岩石。
- 颜色：岩石多呈灰绿、黑绿色。
- 结构构造：中细粒变晶结构，有时为纤状变晶结构。常具有变余斑状、变余火山碎屑结构等。
- **青磐岩常见的矿物共生组合：**
  - 阳起石—绿帘石—钠长石组合；
  - 绿帘石—绿泥石—钠长石组合；
  - 钠长石—绿泥石—碳酸盐组合；
  - 石英—绢云母—碳酸盐组合。

辉石→角闪石、阳起石、绿泥石



角闪石或黑云母→绿帘石、黝帘石、绿泥石、绢云母

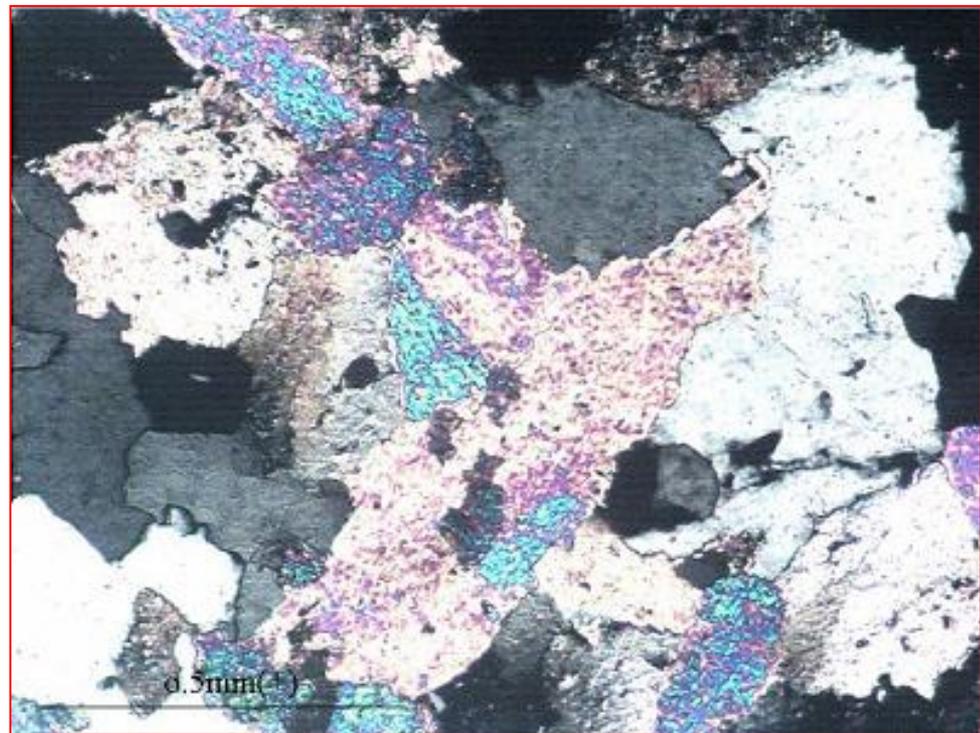
蚀变矿物体积 (%)	蚀变带划分	命名法	实例
0~5	未蚀变原岩	原岩名称	安山岩
5~15	弱蚀变带	××化+原岩名称	绿泥石化安山岩
15~50	弱蚀变带	弱××岩化+原岩名称	弱青磐岩化安山岩
50~95	强蚀变带	××岩化+原岩名称	青磐岩化安山岩
95~100	蚀变岩带	主要蚀变矿物+蚀变岩	钠长绿泥青磐岩

### 3、云英岩

云英岩是酸性侵入岩在高温气体及热液交代作用的产物，云英岩主要是花岗质岩石遭受气液变质的产物

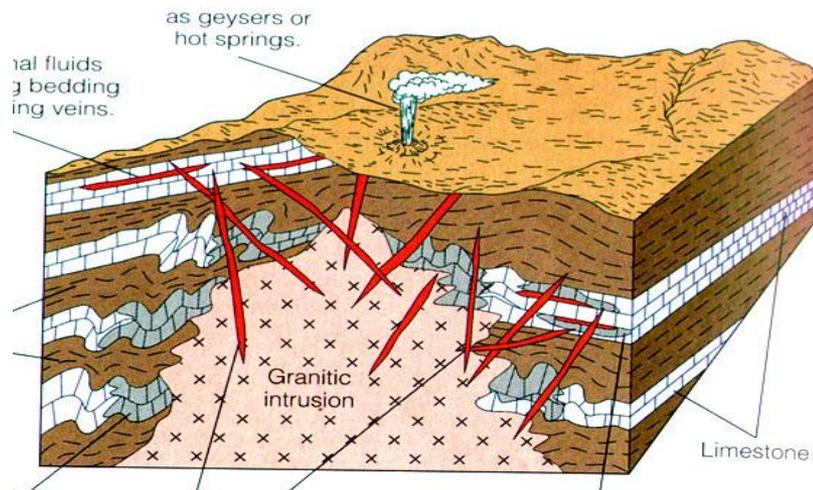
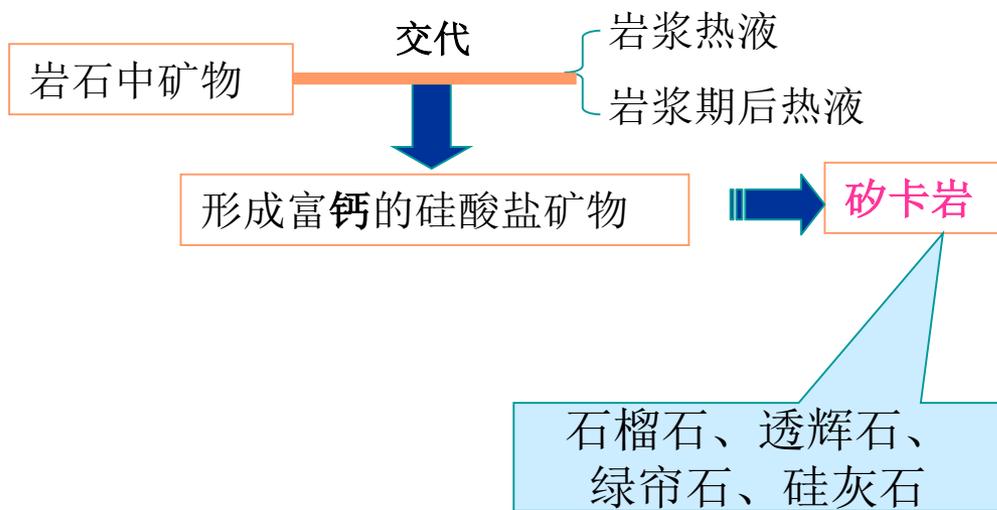
- **岩石外貌特征**为浅色(灰色、浅灰绿或浅粉红等色)，块状构造。中粗粒粒状变晶结构、鳞片花岗变晶结构。
- **矿物成分**以石英、云母(白云母、锂云母、铁锂云母)、萤石、黄玉及电气石为主，常见的金属矿物有锡石、钨锰铁矿、辉铜矿、辉铋矿、毒砂、白钨矿及磁铁矿等。





## 4、矽卡岩

矽卡岩主要是由中酸性侵入岩与钙镁质碳酸盐类岩石(石灰岩或白云质石灰岩)接触时，由接触交代作用所形成的一类岩石。





# 4、矽卡岩

## ➤ 组成矿物

- 辉石（透辉石-钙铁辉石系列）
- 石榴石（钙铝榴石-钙铁榴石系列）
- 钙硅酸盐类矿物-符山石、方柱石、硅灰石、阳起石
- 其它矿物-镁橄榄石、电气石、白云母、金云母、锂云母、绿帘石、萤石、石英、钠长石

## ➤ 分类

- 内矽卡岩和外矽卡岩

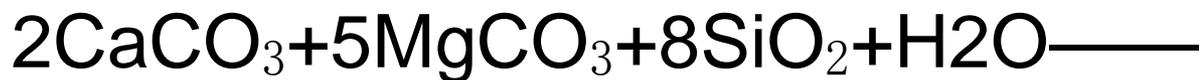
由侵入体边部的侵入岩变成的矽卡岩称内矽卡岩，产于围岩内的矽卡岩称为外矽卡岩

- 简单矽卡岩和复杂矽卡岩

简单矽卡岩主要由**辉石和石榴石**组成，此外还常有符山石、方柱石、硅灰石等，它是早期交代作用的产物。



复杂矽卡岩是早期的矽卡岩又经晚期的热液作用交代而成的。含**透闪石**。



# 第六章 区域变质作用及区域变质岩

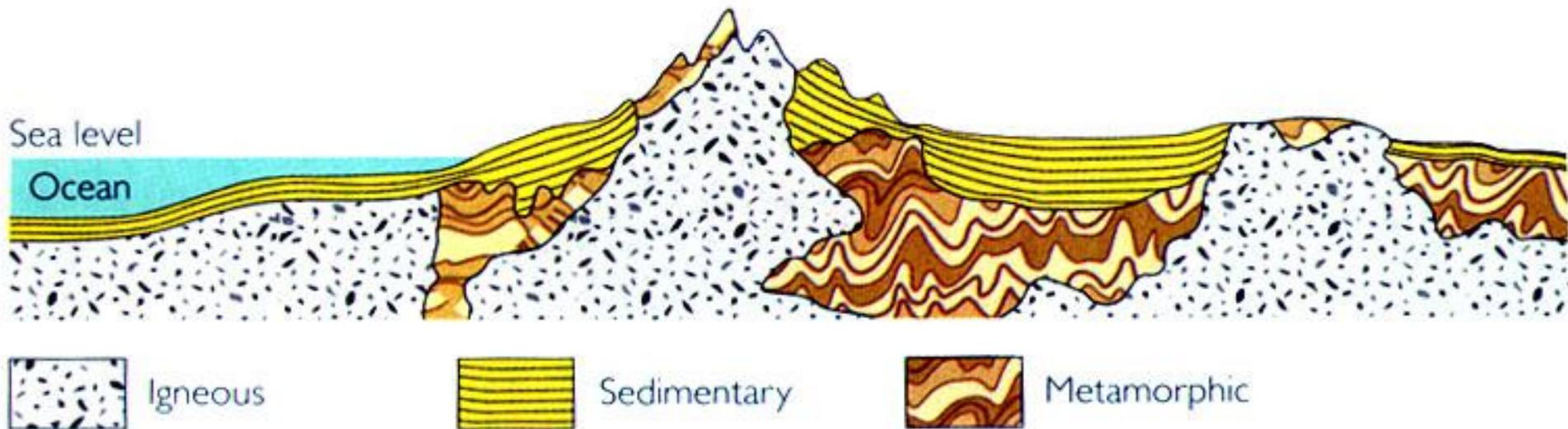
## 一、概述 1、区域变质岩

区域变质作用是发生在大范围内的岩石受**温度**、**压力**、**溶液**多种变质因素的综合影响而发生的变质作用

**区域变质作用所形成的岩石称为区域变质岩**

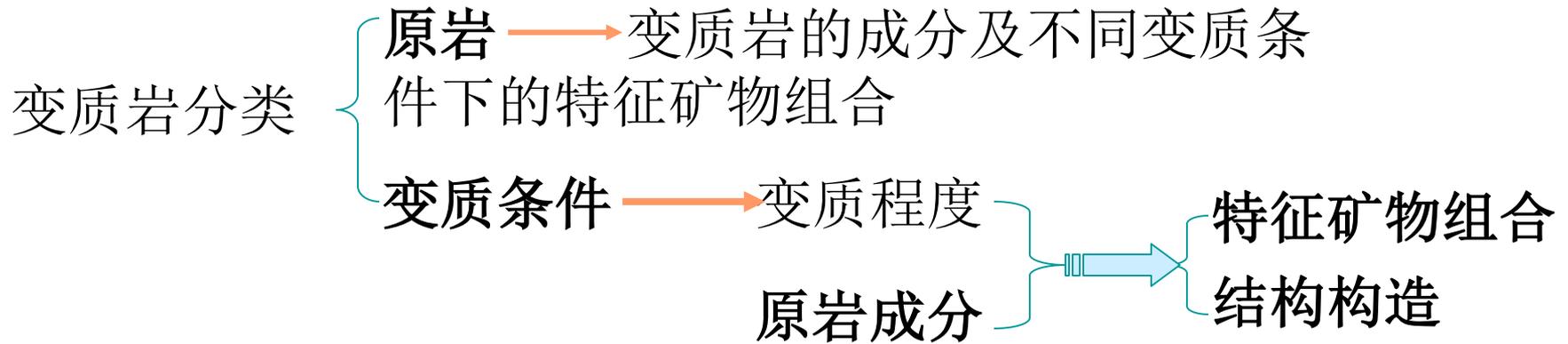
岩石一般都强烈变形和片理化——**片岩、片麻岩、千枚岩**——**统称结晶片岩**

主要分布于古老的结晶基底和造山带——**巨大的带状分布**



→ 变质带

## 二、区域变质岩的分类和命名



### 变质岩分类

(一)、常见区域变质岩一般可分为十大类:

- 1、板岩类
- 2、千枚岩类
- 3、片岩类
- 4、片麻岩类
- 5、长英质粒岩类
- 6、角闪质岩类
- 7、麻粒岩类
- 8、榴辉岩类
- 9、大理岩类
- 10、石英岩

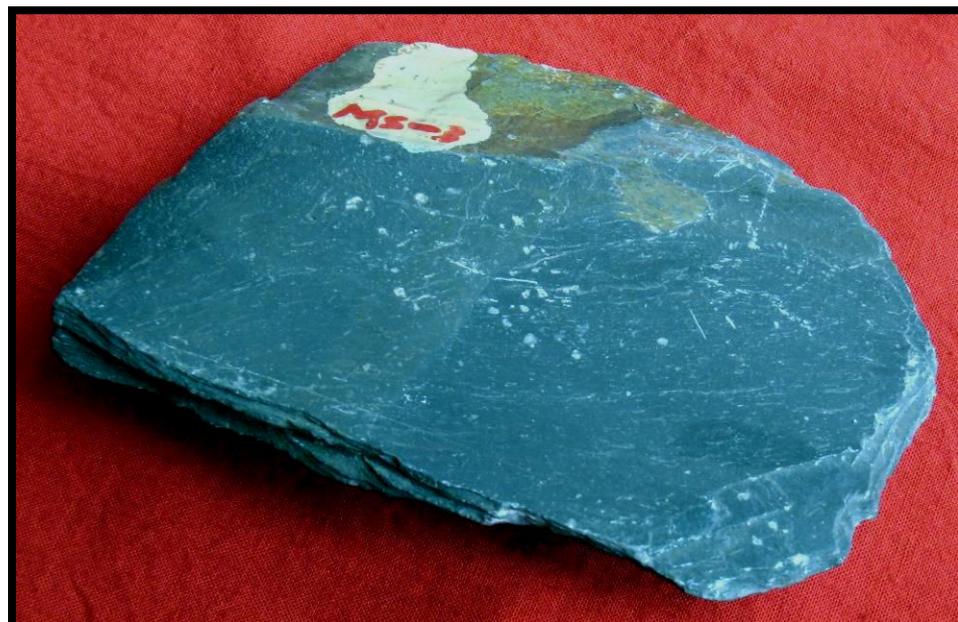


# 三、常见的区域变质岩

## 1、板岩

具板状构造的浅变质岩，由泥质岩、粉砂岩和中酸性凝灰岩经轻微变质而成。岩石外表呈隐晶质，原岩矿物基本没有重结晶，仅有时在板理面上出现少量的绢云母、绿泥石等新生矿物。

斑状构造——沿板理剥下——建筑材料



## 2、千枚岩

具有典型的千枚状构造的浅变质岩。原岩中的矿物组分基本都已重结晶，形成细小的绢云母、绿泥石、石英、钠长石等新生矿物。



岩石具显微鳞片变晶结构，颗粒平均粒径小于0.1mm

重结晶  
普遍

较强的绢丝光泽

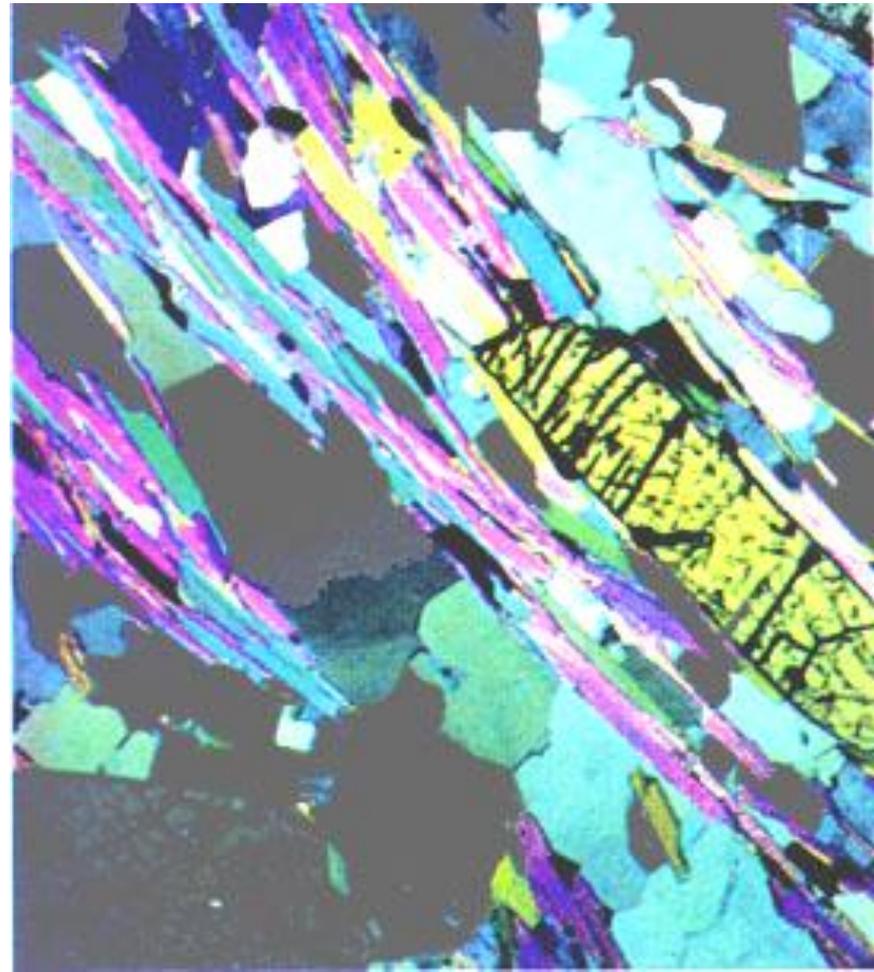
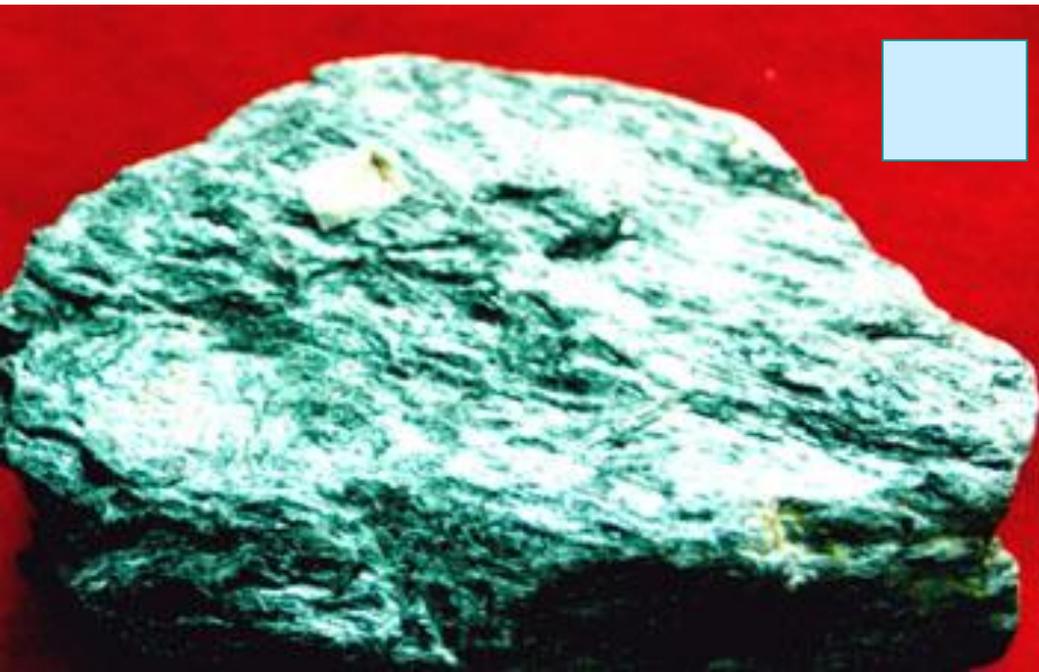


### 3、片岩

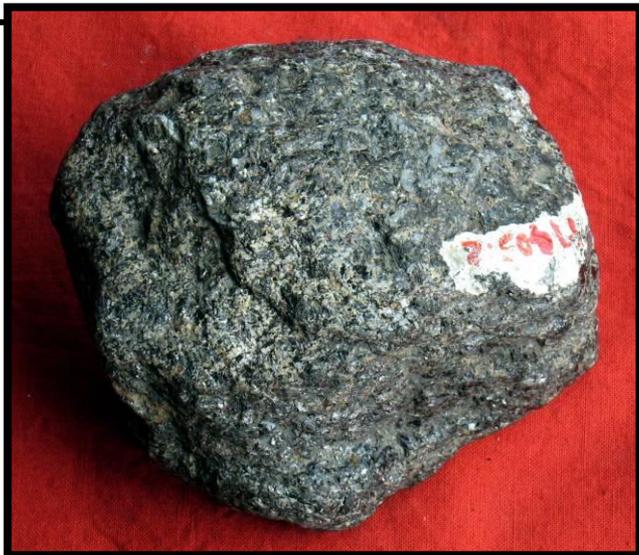
片岩是分布广泛的变质岩，具鳞片变晶结构或粒状鳞片变晶结构和特征片理构造。

- (1) 颗粒平均粒径 $>0.1\text{mm}$
- (2) 片状矿物含量 $>30\%$ ，粒状矿物以石英为主，可含一定数量的长石，长石 $<25\%$
- (3) 特征变质矿物：红柱石、兰晶石、堇青石、十字石、石榴石

(4) 中低级变质岩



石榴蓝晶黑云片岩



蓝晶黑云片岩



斜绿泥石片岩



原岩：各种火山凝灰岩、粘土岩、泥灰岩

变质程度：低—中级变质作用

(1) 云母片岩：以云母为主

云母片岩

(2) 石英片岩：以石英为主

白云母片岩  
黑云母片岩  
二云母片岩

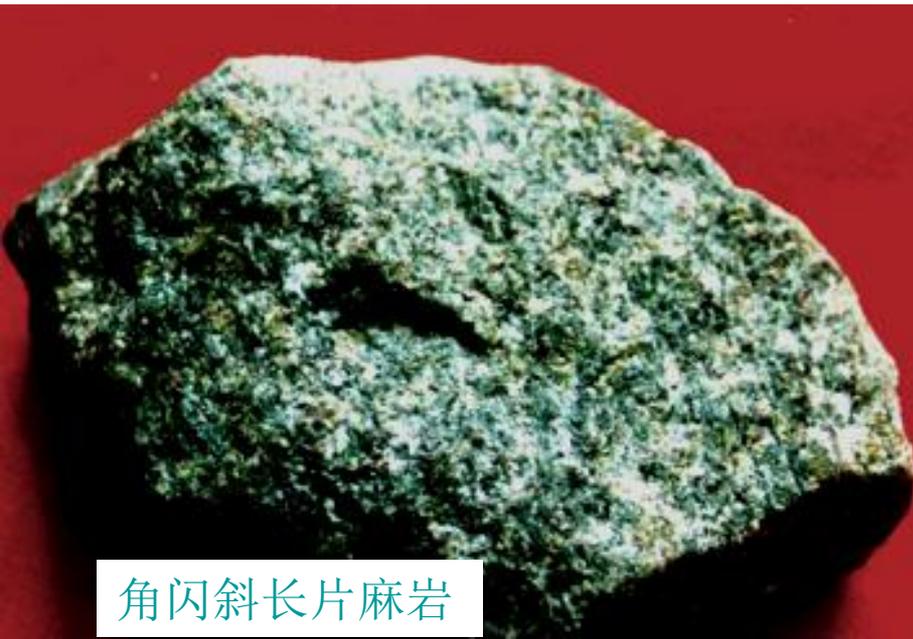
### 云母片岩的分类：

云母含量(%)	白云母	100—75	75—50	50—25	25—0
	黑云母	25—0	50—25	75—50	100—75
岩石名称	白云母片岩	黑云、白	白云、黑云	二云母片岩	黑云母片岩
		云片岩	片岩		

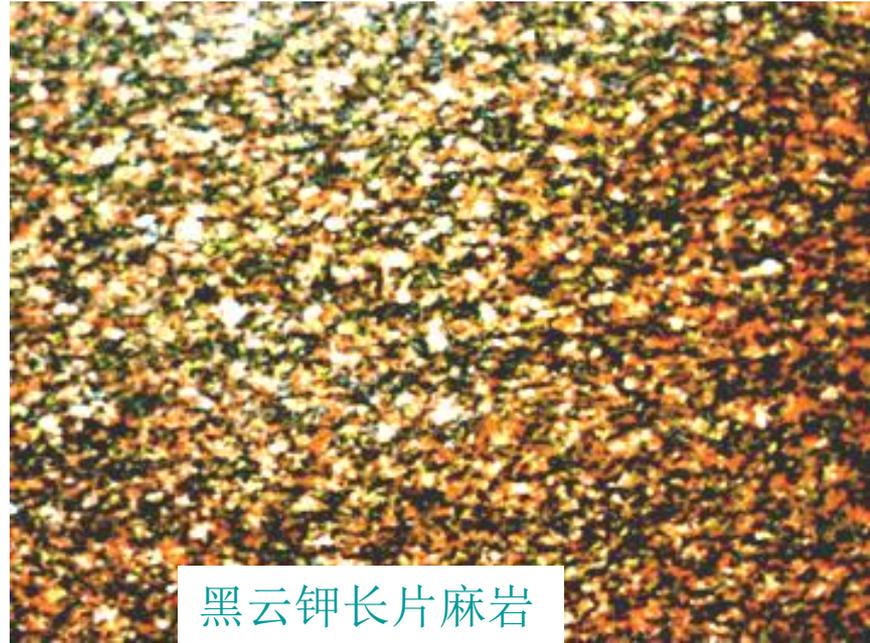
## 4、片麻岩

是变质程度较深的区域变质岩，其特点是具有片麻状构造。

- (1) 粒度一般 $>1\text{mm}$
- (2) 片、柱状矿物 $<30\%$ ，长石+石英含量 $>50\%$ ，长石含量一般 $>25-30\%$ ，
- (3) 特征变质矿物：矽线石、兰晶石、石榴石、堇青石
- (4) 中、高级变质岩



角闪斜长片麻岩



黑云钾长片麻岩

## (1) 钾长（二长）片麻岩

钾长石、酸性斜长石、石英、少量黑云母、角闪石组成

原岩：花岗岩、长石砂岩、酸性火山岩高级区域变质作用

## (2) 斜长片麻岩

中酸性斜长石、石英、黑云母、角闪石组成，有时含石榴石

{ 黑云斜长片麻岩  
角闪斜长片麻岩

原岩：中酸性岩浆岩、凝灰岩、多杂质砂岩经高级变质作用

## (3) 富铝片麻岩

## (4) 钙质片麻岩

# 名山

东岳泰山

片麻岩

西岳华山

花岗岩

中岳嵩山

石英岩

北岳恒山

变质岩

南岳衡山

花岗岩(72峰

均为花岗岩)



刚玉矽线石钾长片麻岩

刚玉

矽线石



眼球状黑云角闪二长片麻岩

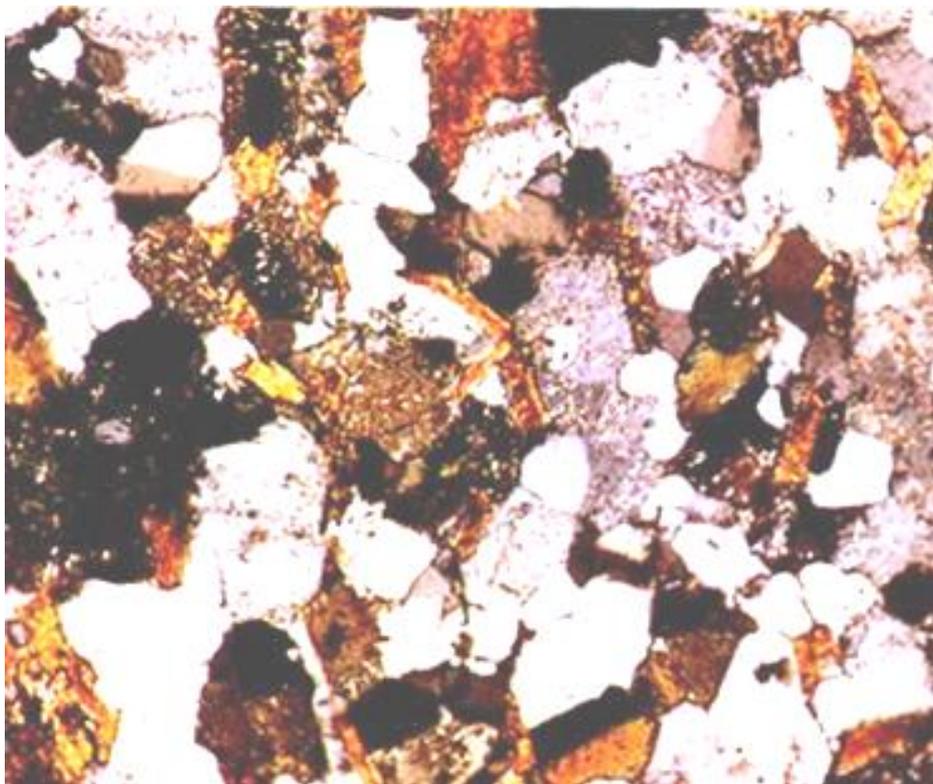
## 5、长英质变粒岩类

主要由长石、石英等矿物组成，一般占矿物总量的70%以上，是一种片理不发育，具(鳞片)粒状变晶结构的区域变质岩。岩石中黑云母、白云母、角闪石等片、柱状矿物的含量<30%

变粒岩：片、柱状矿物<30% —— 粒度较细、片麻状构造不清楚

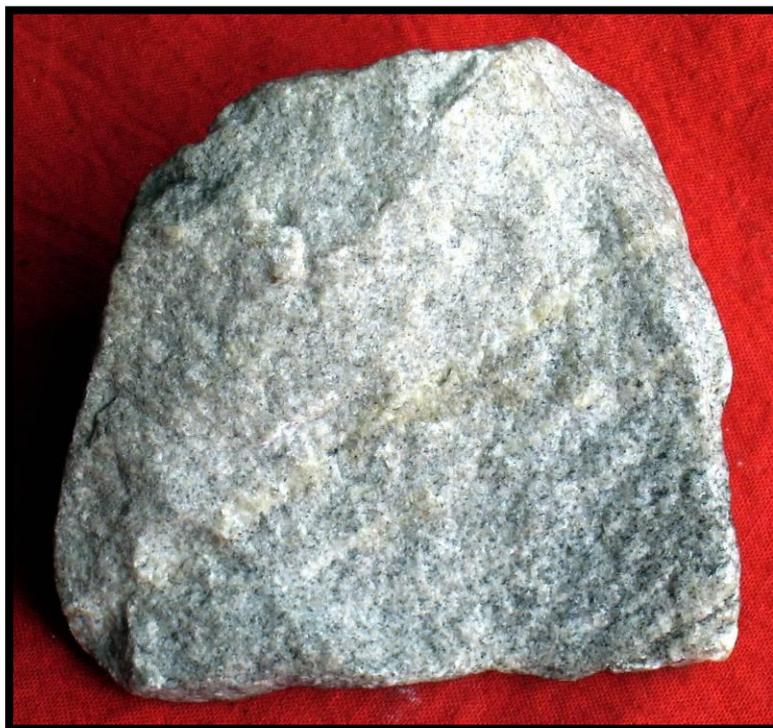
浅粒岩：片、柱状矿物<10%

石英岩：石英>70%,长石<10%



中高级变质岩

黑云母变粒岩



钠长浅粒岩

## 几类变质岩特征对比

岩石类型	矿物组分特征	长石石英 相对含量	结构	构造	变质 程度	其它
千枚岩	矿物组合以绢云母、石英、绿泥石、钠长石为主	石英>长石	显微鳞片 变晶结构	千枚状 构造	低级	粒 径 <0.1m m
片岩	片状矿物含量>30%,粒状矿物以石英为主,可含一定数量的长石,长石<25%	石英>长石	粒状鳞片 变 晶 结 构?	片状构 造	低中 级	粒 径 >0.1 mm
片麻岩	片、柱状矿物<30%, 长石+石英含量>50%, 长石含量一般> 25-30%	长石>石英	鳞片粒状 变 晶 结 构?	片麻状 构造	中高 级	粒 径 >1m m
长英质 粒岩	长石、石英>70%,白云母、角闪石等片、柱状矿物的含量 <30%	石英>长石	(鳞片) 粒 状变晶结 构	块状构 造、弱 片麻状 构造	中高 级	粒 径 <1mm

## 6、斜长角闪岩

岩石颜色深暗，主要由角闪石、斜长石两种矿物组成，常含少量石英、石榴石、绿帘石、黑云母、透辉石等矿物。角闪石等暗色矿物含量 $>50\%$ ，粒状变晶结构或斑状变晶结构，片状、片麻状、条带状、块状等构造。

### 分类

**角闪岩**：角闪石含量 $>85\%$ ，颜色绿黑、黑色

**斜长角闪岩**：角闪石 $>50\%$ ，斜长石 $50\%$ 左右

角闪片岩：具较明显的片状构造，浅色矿物以石英为主

角闪斜长片麻岩：角闪石 $<50\%$ ，斜长石 $>25\%$ ，具片麻状构造

由基性岩和富铁白云质泥灰岩经中高级区域变质而成



照片8 斜长角闪岩

柱粒状变晶结构，主要成份为它形粒状的斜长石和呈柱粒状的角闪石，角闪石含量30%—40%，具有定向排列的趋势。

胜17井 太古界 3118.89m 正交偏光 36×



照片9 角闪岩

粒柱状变晶结构，主要成份为角闪石（含量>90%）、斜长石（含量<10%）、角闪石晶体中有许多穿孔石英，斜长石为它形粒状，轻度绢云母化。

沈34井 太古界 3025m 正交偏光 69×

照片7 角闪斜长变粒岩

柱粒状变晶结构，岩石由斜长石（55%—60%）、石英（10%—15%）、角闪石（25%—30%）等矿物组成，长英质矿物均为它形粒状，角闪石粒状、柱状，局部呈聚斑状。

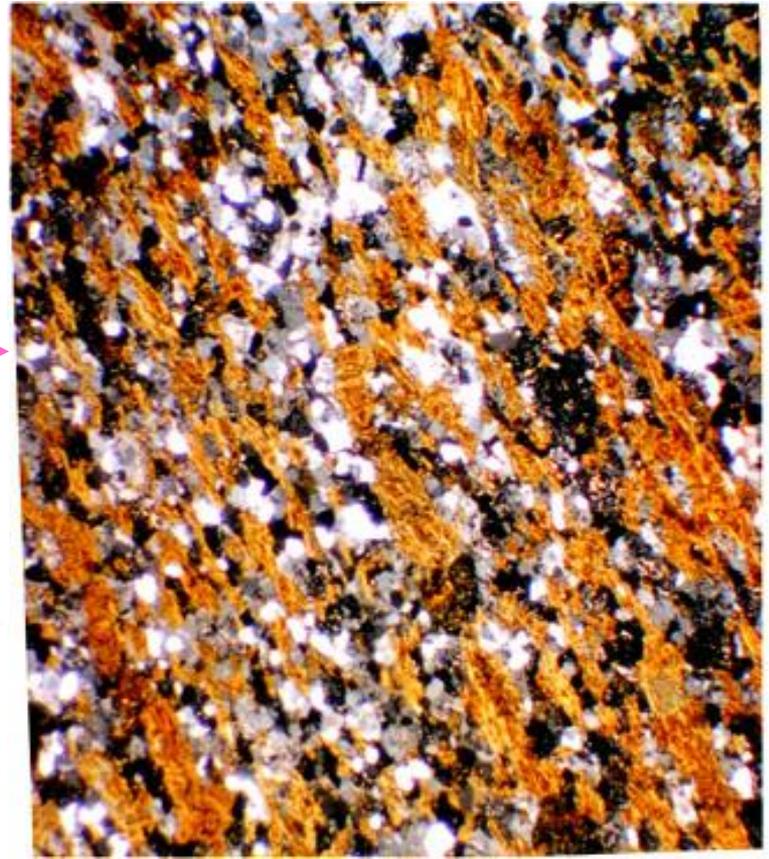
胜11-7井 太古界 2821.37m  
正交偏光 64×



照片13 角闪片岩

柱粒状变晶结构，片状构造。岩石主要由角闪石、石英、斜长石组成。角闪石含量40%左右，定向呈断续条带状与粒状石英、长石相间排列，岩石呈现片状构造特点，石英含量多于长石。

胜11-7井 太古界 2770.30m 正交偏光 47×



→ 麻粒岩

# 7、麻粒岩

是一种变质程度较深（高温、较高压条件），具粒状变晶结构的岩石，岩石在矿物成分上以含紫苏辉石为特征。含水矿物（角闪石、黑云母等）不稳定，含量很少或不出现。

岩石中的矿物成分主要为：紫苏辉石、透辉石、长石和石英，此外，石榴石、兰晶石、矽线石等也可少量出现。

## 分类

- 1、长英质麻粒岩(浅色麻粒岩)：石英、钾长石、斜长石等浅色矿物>70%，暗色矿物10~30%
- 2、辉石麻粒岩（暗色麻粒岩）：斜长石、紫苏辉石、透辉石、石榴石矿物组成，暗色矿物含量>70%。
- 3、麻粒岩：暗色矿物30%~70%，斜长石为中~更长石

石榴二长麻粒岩

石榴石



辉石（深色）麻粒岩



## 8、榴辉岩

主要由浅红色石榴石和绿辉石组成，含有少量兰晶石、橄榄石、斜方辉石、角闪石，但无斜长石。粗粒不等粒变晶结构、块状构造

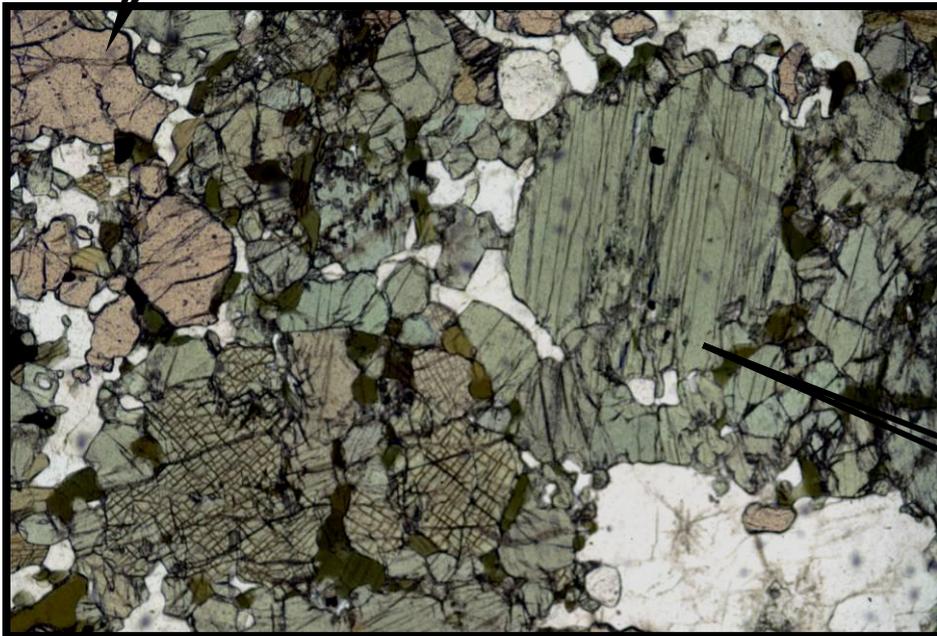
颜色深、比重大（3.6-3.9），是变质岩中密度最大的岩石。

一般认为是基性、超基性岩在极大的压力条件下变质而成的---高级变质，而温度条件不限

榴辉岩



石榴石



绿辉石

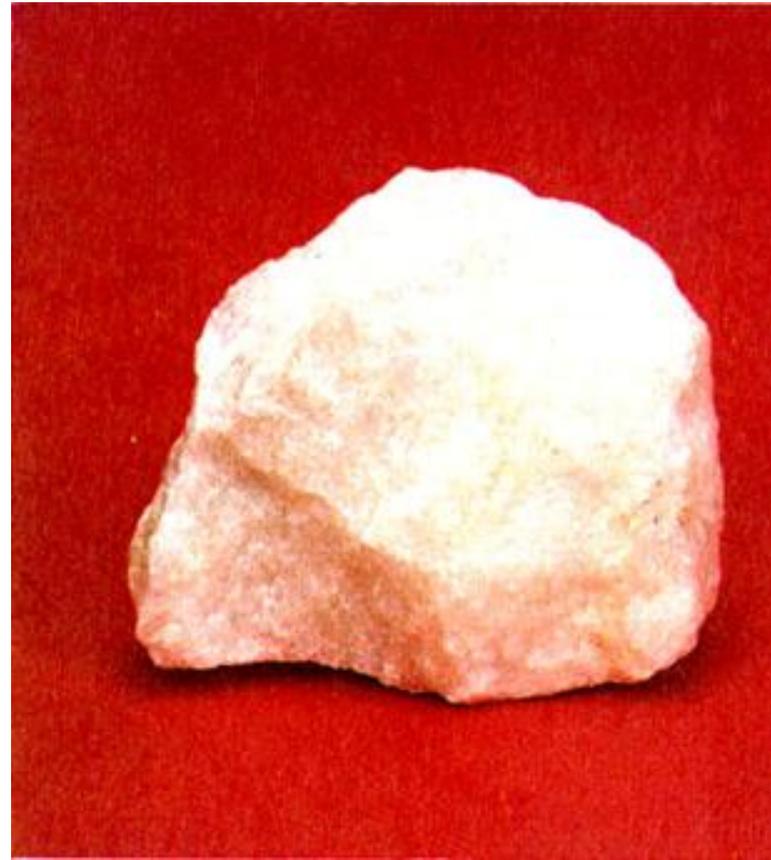
## 9、大理岩

云南大理县点苍山

是一种碳酸盐岩矿物（方解石、白云石）>50%的变质岩，岩石具粒状变晶结构和块状构造，有时可具条带状构造。由石灰岩、白云岩等碳酸盐岩经区域变质作用或接触变质作用而形成。

由于原岩所含的杂质及变质作用条件不同，大理岩中可含少量蛇纹石、透闪石、方柱石、金云母、镁橄榄石、硅灰石等特种变质矿物。

质地致密的白色细粒大理岩  
又称为**汉白玉**



# 我国著名的大理岩玉种：

北京的房山玉

辽宁的东北绿、东北红

河北的曲阳玉

山东莱阳的莱阳绿

河北涿州的金墨玉

等等

# 第七章 混合岩化作用 及混合岩

## 一、概述



混合岩由两部分组成：

基体——混合岩化过程中残留的变质岩（片岩、片麻岩、角闪质岩石等）

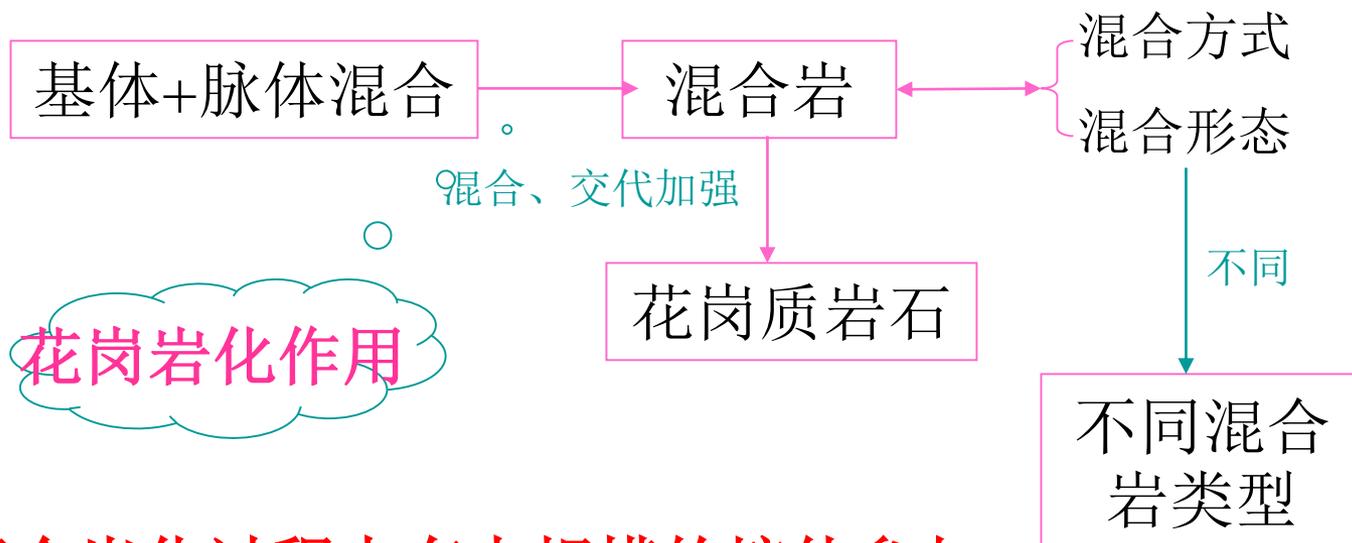
脉体——在混合岩化过程中贯入到变质岩基体中的花岗质或长英质组分



# 注入说、再生岩浆说、变质分异说、深熔作用及花岗岩化

- 注入说--较高热流---深部热液（富含钾、钠、硅）
- 深熔作用说--超过深熔作用下限--选择性熔融---富长英熔浆

——→ 注入、渗透、交代 ——→ 混合岩



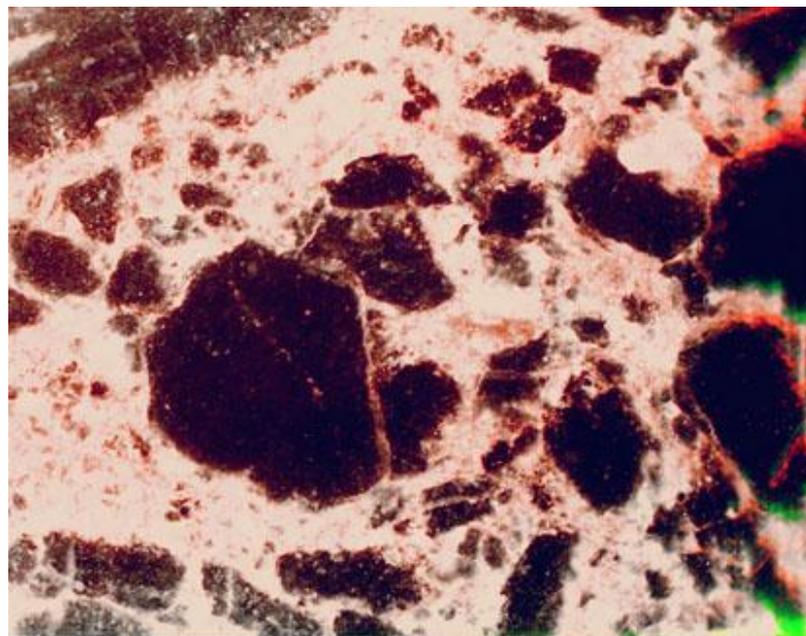
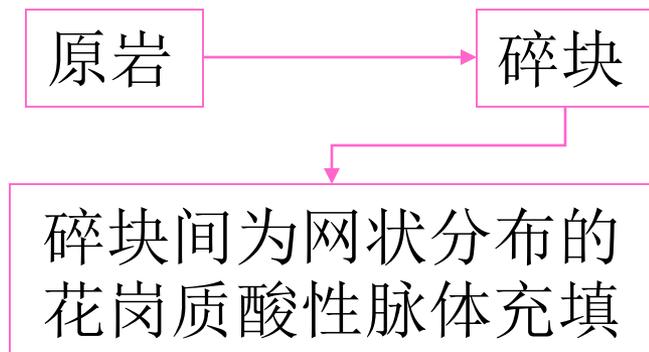
由于在混合岩化过程中有大规模的熔体参与，不同于一般的变质作用，因而又称为超变质作用

## 二、混合岩的分类

### (一) 混合岩类 ( $15\% < \text{脉体} < 50\%$ )

#### ■ 按形态主要由以下几种：

##### 1、角砾状混合岩

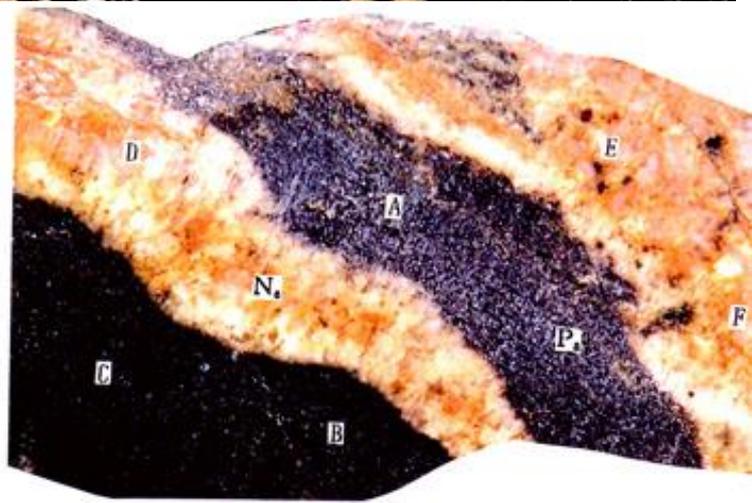
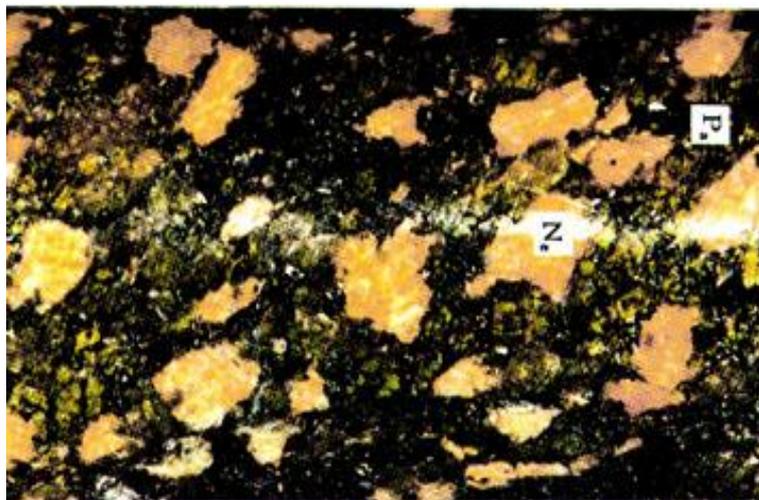


##### 2、枝状混合岩

脉体较少，不同网脉状，而是呈树枝状产出

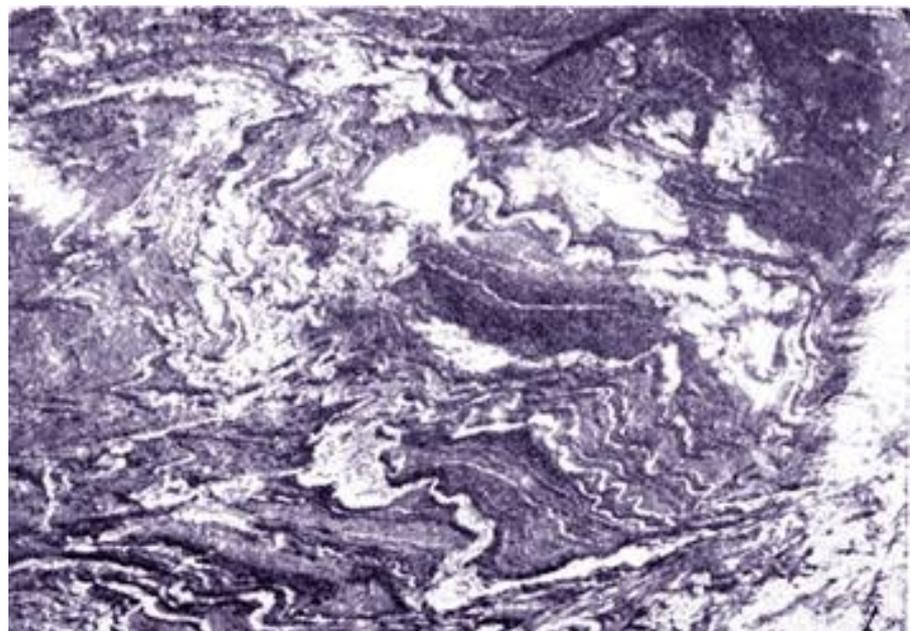
### 3、眼球状混合岩

脉体沿片理方向贯入，呈眼球状、串珠状分布，眼球的成分通常为酸性斜长石，以微斜长石最为常见



### 5、肠状混合岩

长英质脉体呈复杂的肠状揉皱串珠状分布，分布在片理发育的片岩或片麻岩中。



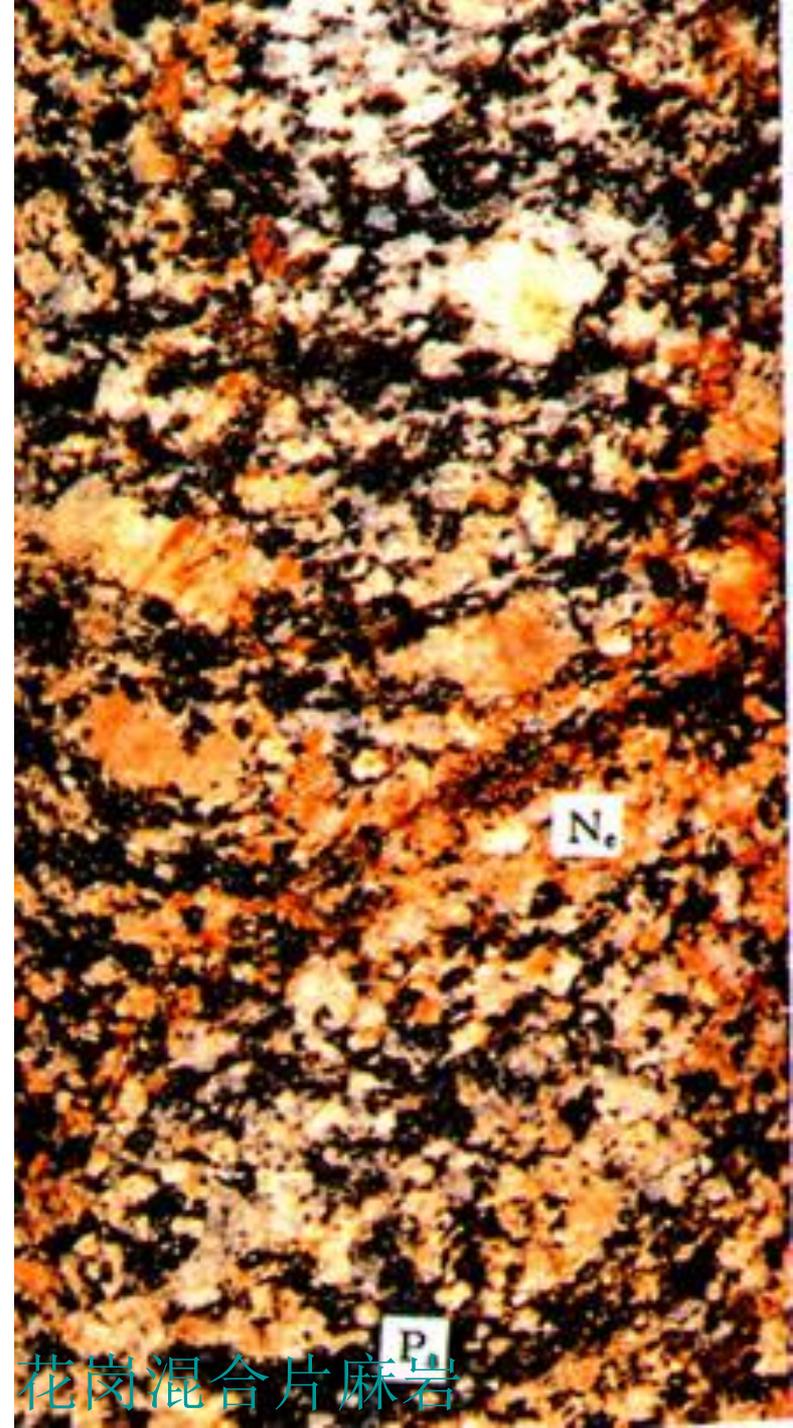
### 4、条带状混合岩

脉体和基体条带状互层，看上去黑白相间



## (二) 混合片麻岩 (脉体50-85%)

混合岩化强烈，残留基体<50%，基体和脉体间界限不清楚，片麻状构造仍较明显，暗色矿物分布不均，其较集中的部分有时能大致反映受混合岩化的基本轮廓。



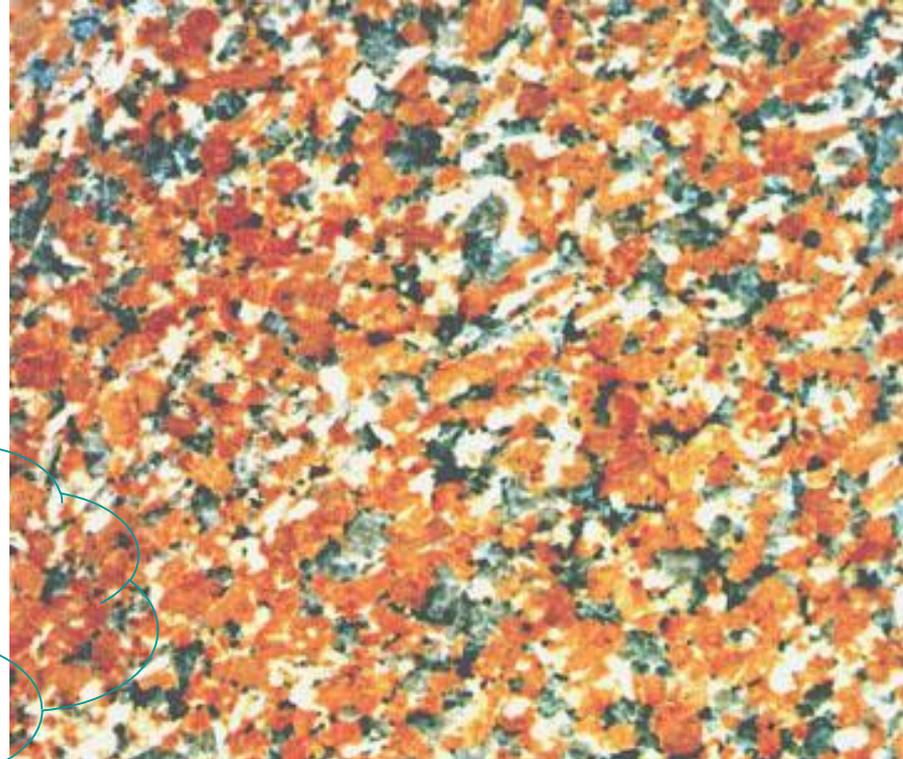
花岗混合片麻岩



### (三) 混合花岗岩类 (脉体 大于85%)

是混合岩化最强烈的产物，岩性上与岩浆成因的花岗岩极为相似，此时基体与脉体已无法分辨，在标本上甚至在露头上都很难区别。有时片麻理和星云状斑点隐约可见

暗色矿物较集中的斑点及条带或团块，呈不均匀分布，显示出交代残留的基本轮廓



变质相和变质岩原岩研究(略)