



第四章 陆源碎屑岩

clastic rocks of terrigenous origin

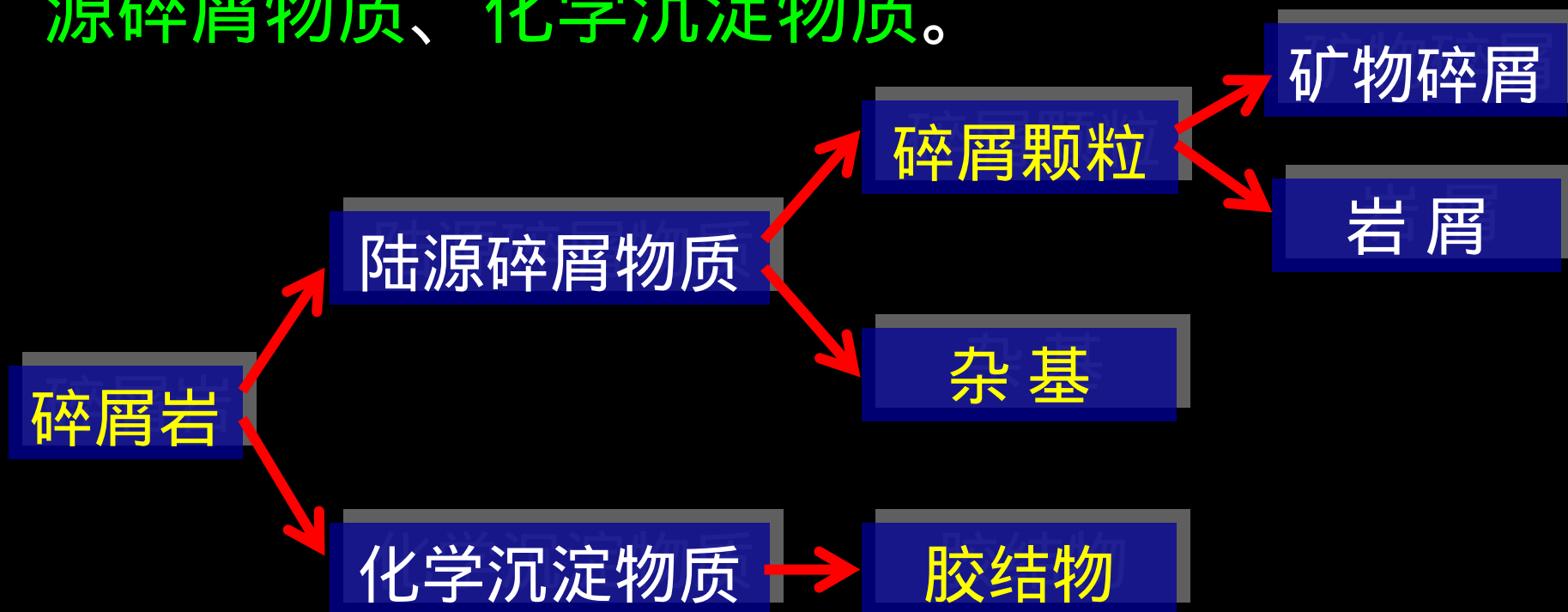


第一节 碎屑岩的成分

(Composition of clastic rocks)

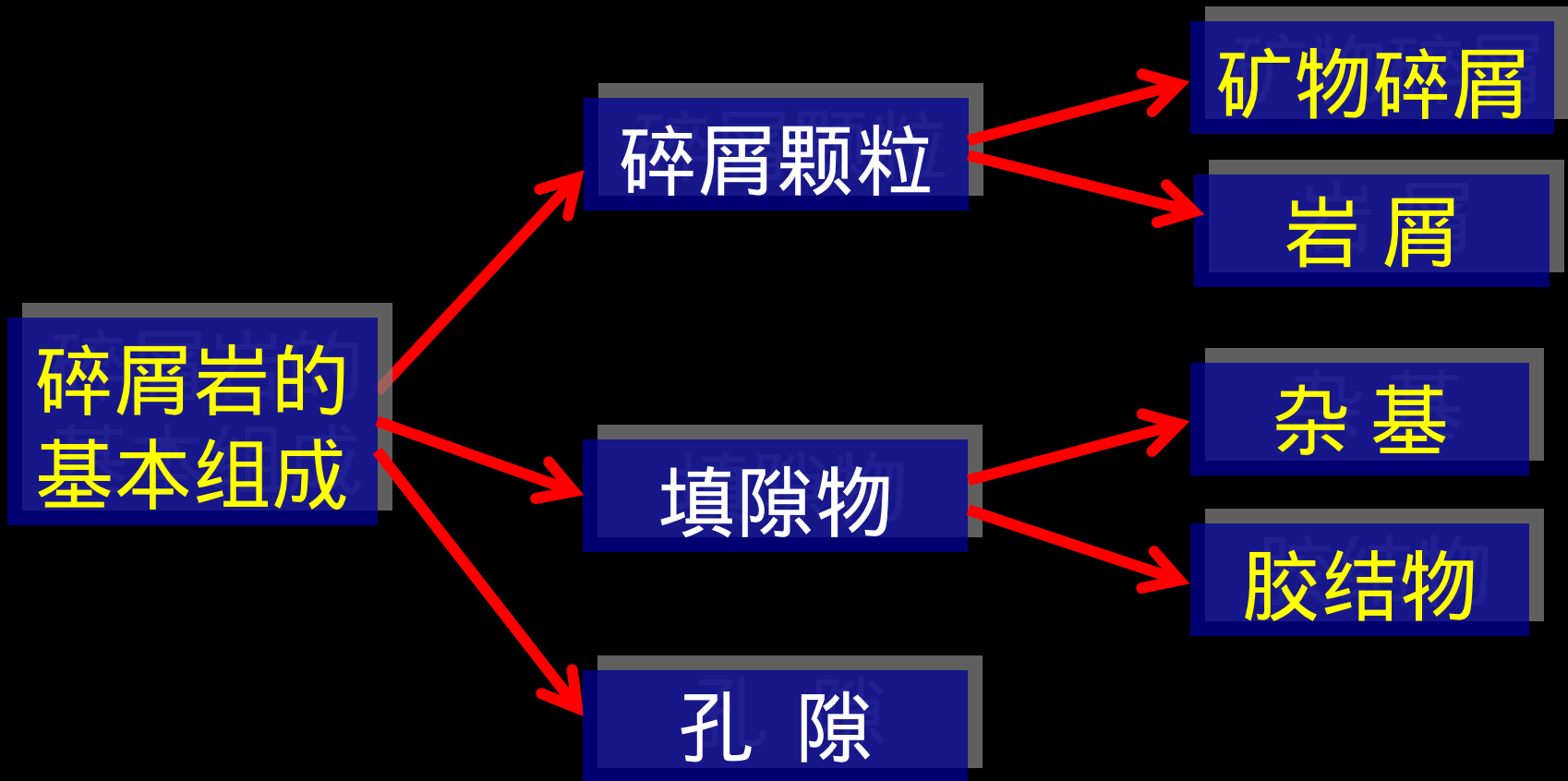
一、概述

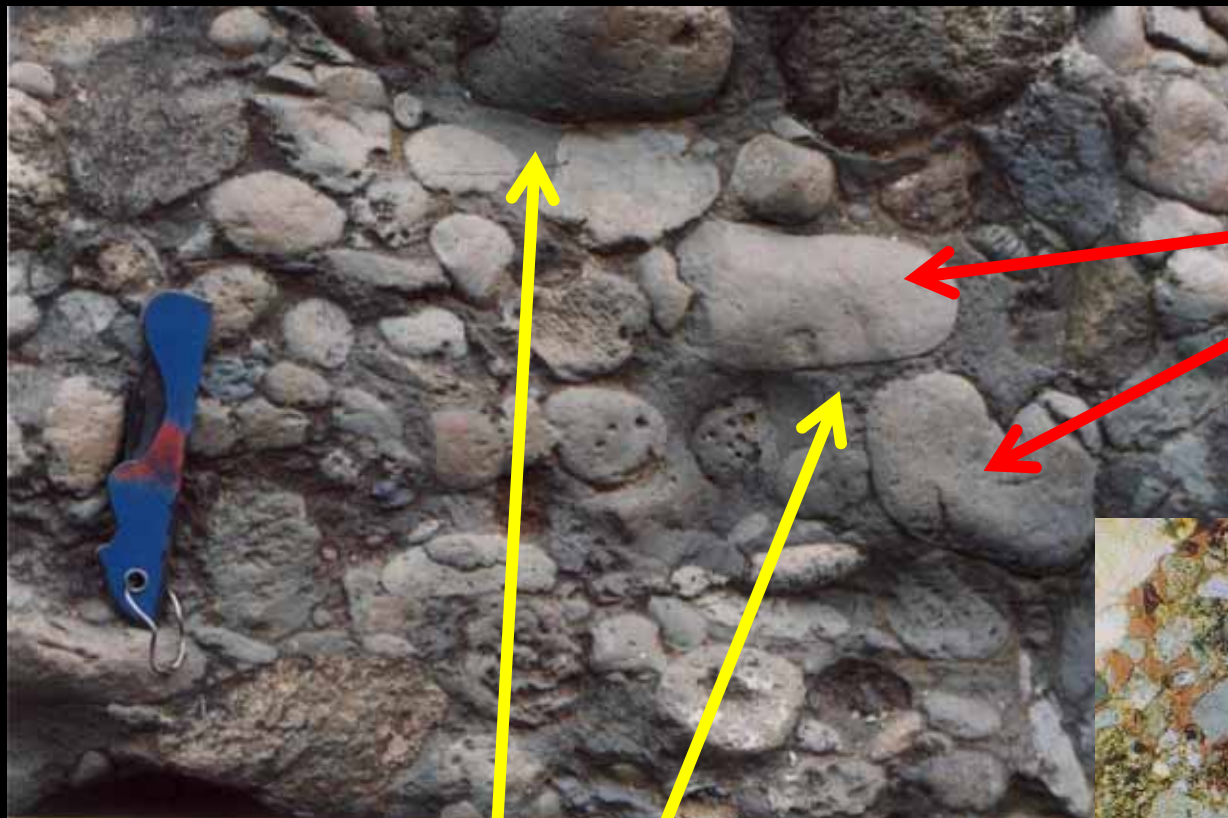
按照成因，碎屑岩的组成部分包括：**陆源碎屑物质**、**化学沉淀物质**。





按照按产出形式，碎屑岩的基本组成部分包括：**碎屑颗粒**（矿物碎屑和岩石碎屑）、**填隙物**（杂基和胶结物）、**孔隙**。





碎屑颗粒

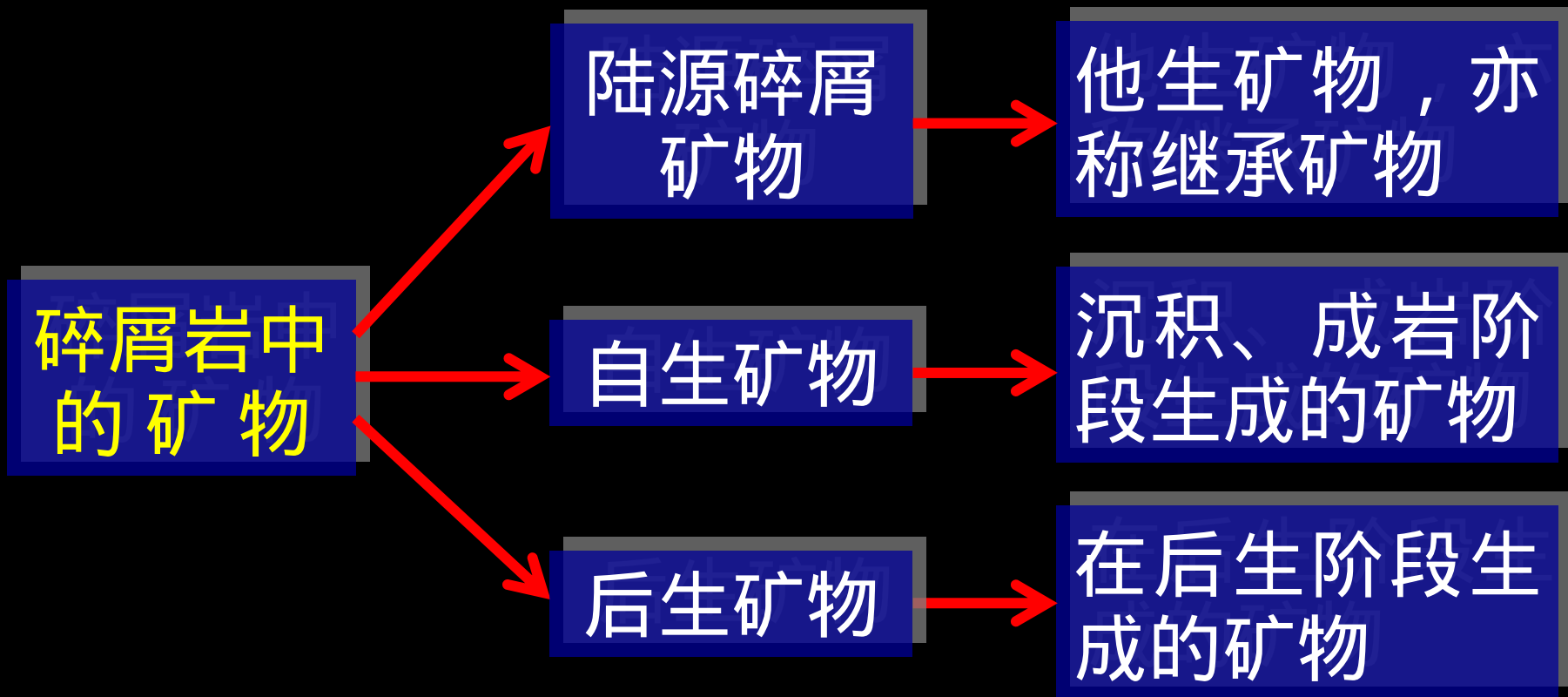
填隙物



成岩作用弱
不等粒砂岩(含油) 颗粒呈
点、线接触, 胶结松。正交偏光+试
板, $\times 80$ 。
侏罗系, 克拉玛依油田重17井
543.1m。



碎屑岩中的矿物





二、碎屑成分 (Clastic constituents)

碎屑：矿物碎屑、岩石碎屑 (岩屑)

(一) 矿物碎屑 (Mineral clastics)

沉积岩中已发现的碎屑矿物约有160种，最常见的约有20种。在一种碎屑岩石中，其主要的碎屑矿物通常不过3~5种。

按照相对密度，碎屑矿物可分为：

轻矿物：<2.86，石英、长石等

重矿物：>2.86，楣石、锆石等



1. 石英 (Quartz)

石英抗风化能力强，既抗磨又难分解，同时在大部分岩浆岩和变质岩中石英含量又高。所以石英是碎屑岩中分布最广的一种碎屑矿物。

石英主要出现在砂岩及粉砂岩中（**平均含量66.8%**），在砾岩中含量较少，在粘土岩中则更少。



石英具有**油脂光泽**，但只在新鲜断口上表现得明显。



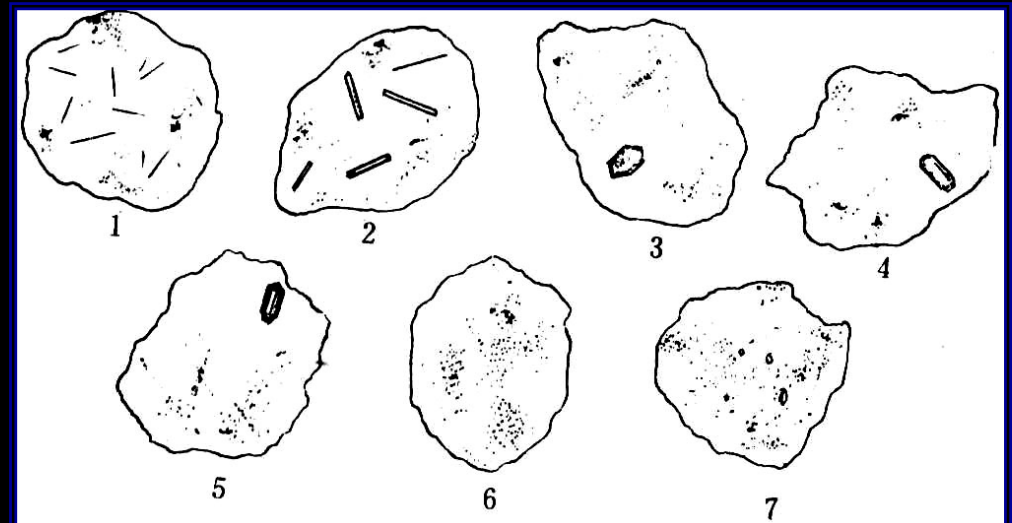
在结晶岩中，**深成中酸性岩浆岩、石英—长石质片麻岩及片岩**含有大量石英，这是碎屑石英的主要来源。

不同来源的石英具有不同的特点。通过石英中所含**包裹体及波状消光**现象，结合**颗粒大小及形状**等特征，有助于判断石英的来源。



①**来自深成岩浆岩的石英**：来自中酸性深成岩的石英，常含有**细小的液体、气体包裹体**，或含**锆石、磷灰石、电气石、独居石等岩浆岩副矿物包裹体**。矿物包裹体颗粒细小，自形程度高，排列无一定方位。尘状气、液包裹体使石英颗粒呈**云雾状**。

过去认为岩浆岩中的石英很少见到波状消光，但更多观察表明：较老的岩浆岩中的石英常常也表现有明显的**波状消光**。



岩浆岩中石英的包裹体

1、2—电气石包裹体；3、4—磷灰石包裹体；

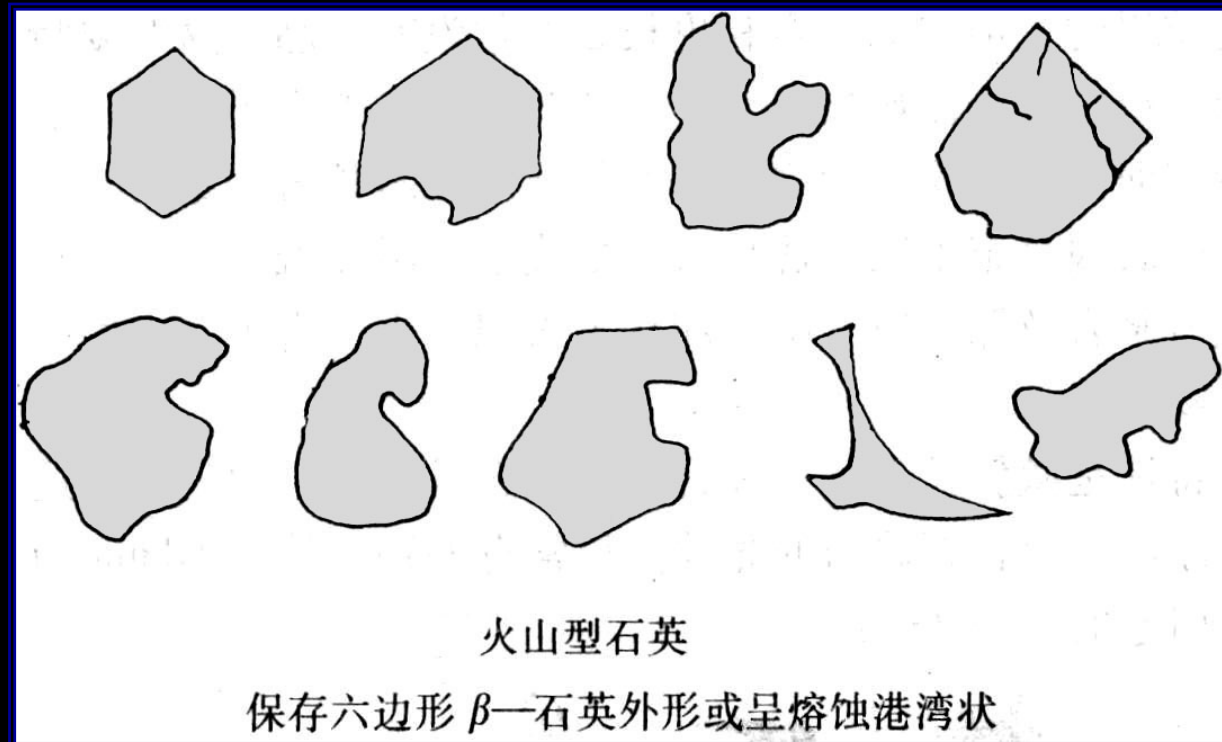
5—锆石包裹体；6、7—气液包裹体



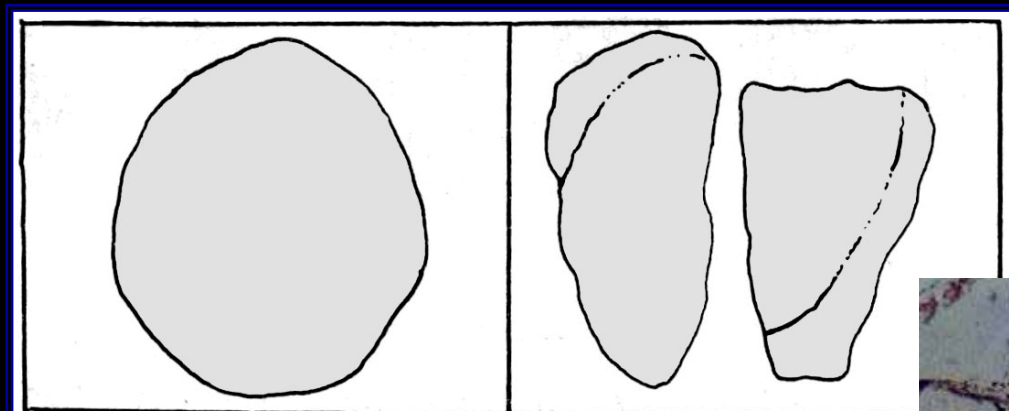
②来自变质岩的石英：片麻岩和片岩风化崩解后，会产生大量的单晶及多晶石英。变质石英表面常见裂纹，不含气液包裹体。大多数的石英晶粒都具有波状消光。

③来自喷出岩及热液岩石的石英：火山喷出岩中的石英为高温石英，多为单晶，不具波状消光，不含包裹体，表面光洁如水，具有石英外形，破裂纹，港湾状溶蚀边缘。

来自热液脉的石英常含很多水、气包裹体。

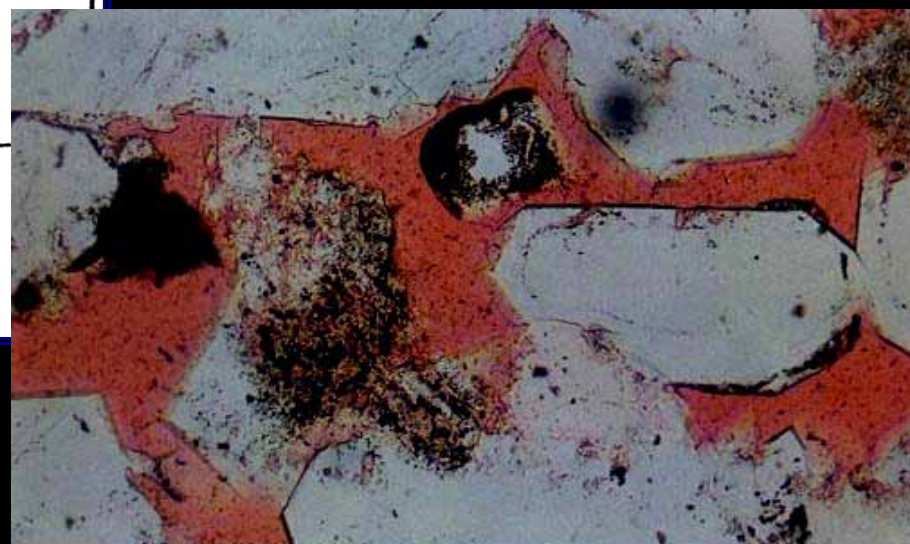


④再旋回石英：呈浑圆状或带自生加大边，以单晶的非波状消光石英为主。



再旋回石英

左—浑圆状再旋回石英，东濮，胡 12-20 井，沙三³；
右—具次生加大边的再旋回石英，东濮，卫 20 井，沙三³

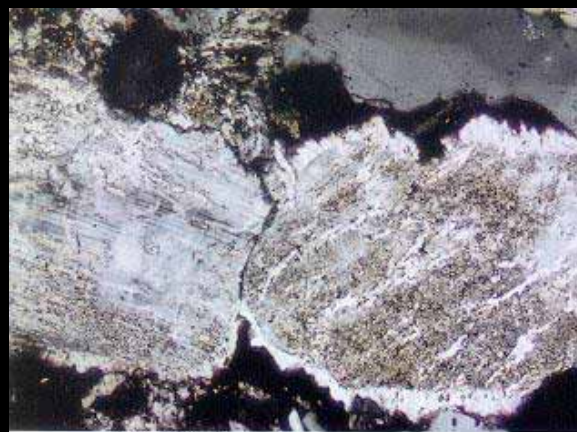


石英具次生加大
细-中粒石英砂岩 硅质胶结，呈自形晶粒状加大，加大后残余粒间孔。红色铸体，单偏光， $\times 95$ 。
侏罗系延安组，长庆油田元16井1361.6m。

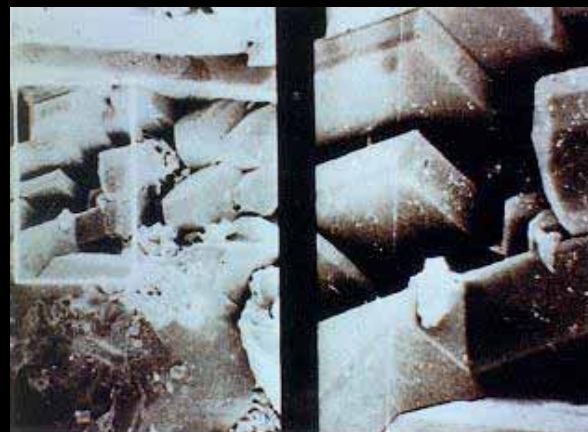


2. 长石 (Feldspar)

在碎屑岩中，长石的含量少于石英。砂岩中长石的**平均含量为10~15%**，长石主要分布于粗砂岩中，偶见于中砂岩中，在砾岩和粉砂岩中长石矿物碎屑含量较少。



长石加大
中-粗粒石英砂岩 长石呈齿
状加大。正交偏光， $\times 63$ 。
侏罗系延安组，长庆油田岭
130井1445.3m。



砂岩中的自生钠长石
SEM, $\times 250$ 。
三叠系延长组，长庆油田子41
井645.0。

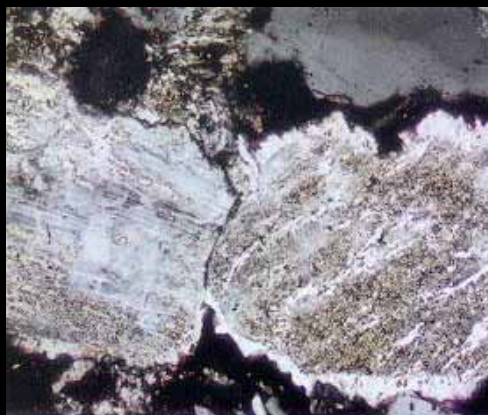
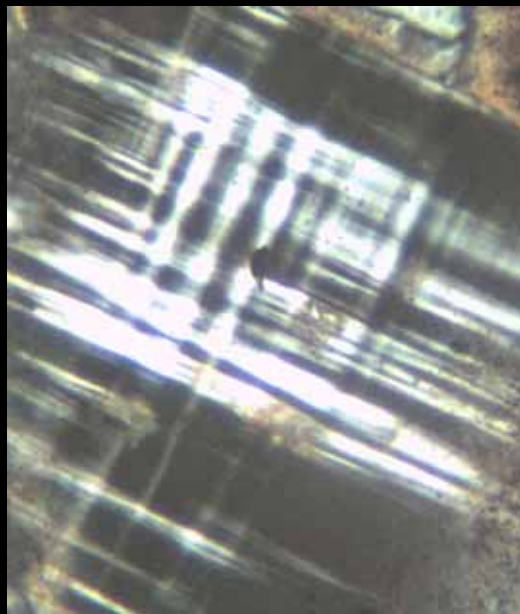


长石主要来源于**花岗岩**和**花岗片麻岩**。地壳运动比较剧烈，地形高差大，气候干，物理风化作用为主，搬运距离近以及堆积迅速等条件，是长石大量出现的有利因素。

在碎屑岩中，**钾长石**（正长石>微斜长石）>**斜长石**（钠长石>>钙长石）。



在长石中，最新鲜的是**微斜长石**，其颗粒表面**光洁**，**网格双晶**清晰可见，常呈圆粒状。**正长石**常见**高岭石化**，使表面呈**云雾状**，颗粒轮廓模糊不清。**酸性斜长石**常具有清晰的**钠长石双晶**。斜长石常被绢云母或碳酸盐矿物所交代，表面呈云雾状，轮廓模糊。



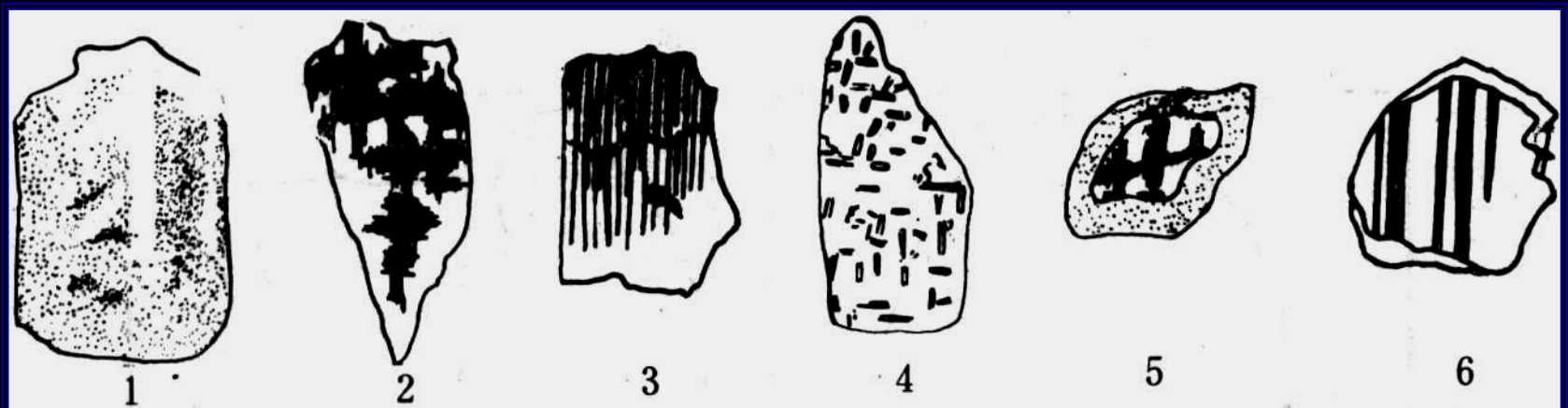
长石加大
中-粗粒石英砂岩 长石呈齿状加大。正交偏光， $\times 63$ 。
侏罗系延安组，长庆油田岭130井1445.3m。



长石加大
中-粗粒长石岩屑砂岩 长石次生加大。正交偏光， $\times 300$ 。
白垩系梨树组，吉林油田梨参2井1992.0~1995.0m。



再旋回长石的特征是微斜长石、正长石或斜长石具有**自生加大边**，与石英的自生加大不同，长石自生加大与原长石碎屑的光性方位不同，**不同时消光**。



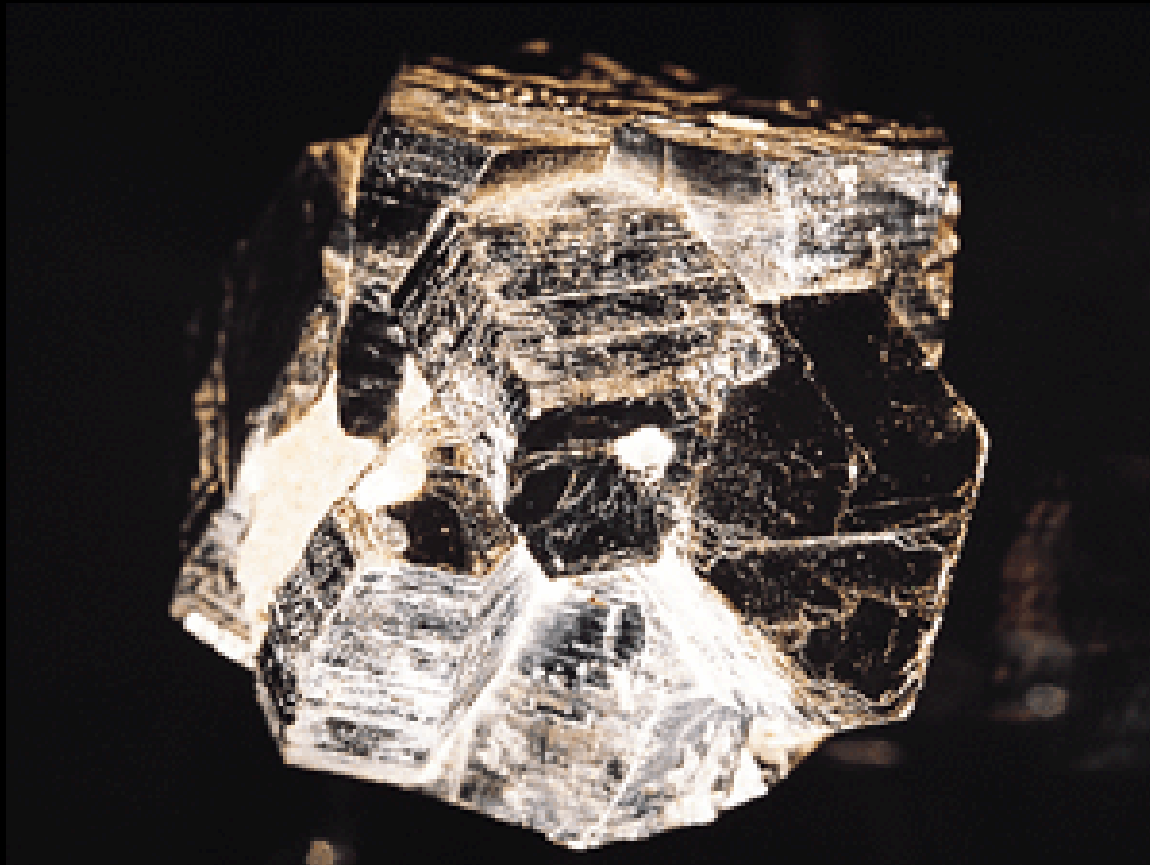
各种碎屑长石

1—半自形高岭石化正长石；2—来自花岗片麻岩的微斜长石；3—双晶纹很细的中酸性斜长石；4—绢云母化长石；5—再旋回微斜长石；6—再旋回斜长石



3. 云母 (Mica)

在碎屑岩中，白云母 > 黑云母。





4. 重矿物 (Heavy mineral)

在碎屑岩中含量极少，一般不超过1%，在粒级为0.25 ~ 0.05mm的范围重矿物含量最高。

按重矿物的风化稳定性可分为：**稳定的重矿物**和**不稳定的重矿物**。

最常见的稳定及不稳定重矿物

稳定的重矿物	不稳定的重矿物
石榴石、锆石、刚玉、电气石、 锡石、金红石、白钛矿、板钛矿、 磁铁矿、榍石、十字石、蓝晶石、独居石	重晶石、磷灰石、绿帘石、黝帘石、阳起石、 符山石、红柱石、硅线石、黄铁矿、透闪石、 普通角闪石、透辉石、普通辉石、斜方辉石、 橄榄石、黑云母



不同类型的母岩其矿物组分不同，经风化破坏后会产生不同的重矿物组合，因此，利用重矿物组合解释母岩是非常有用的。

不同母岩的重矿物组合

母 岩	重 矿 物 组 合
酸性岩浆岩	磷灰石、普通角闪石、独居石、金红石、榍石、锆石、电气石（粉红色变种）、锡石、黑云母
伟晶岩	锡石、萤石、白云母、黄玉、电气石（蓝色变种）黑钨矿
中性及基性岩浆岩	普通辉石、紫苏辉石、普通角闪石、透辉石、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、硅线石、十字石、绿帘石、黝帘石、镁电气石（黄、褐色变种）、黑云母、白云母、硅灰石、堇青石
沉积岩	锆石（圆）、电气石（圆）、金红石



各类岩石的轻重组分组合

母 岩	矿 物 组 合 (包 括 部 分 岩 屑)	
花 岗 岩 花岗闪长岩	重 矿 物 轻 组 分	锆石、榍石、磷灰石、黑云母 石英、正长石、微斜长石、酸性斜长石
安山岩和玄武岩	重 矿 物 轻 组 分	辉石、角闪石 安山岩或玄武岩岩屑、中性和基性斜长石
橄榄岩和辉长岩	重 矿 物 轻 组 分	尖晶石、铬铁矿、橄榄石、紫苏辉石、 基性岩岩屑、基性斜长石、蛇纹石
变 质 岩	重 矿 物 轻 矿 物	蓝晶石、十字石、硅线石、石榴石 具波状消光和镶嵌结构的石英
沉 积 岩	重 矿 物 轻 矿 物	锆石 (圆)、金红石、石榴石、电气石 (较圆) 颗粒圆滑或具次生加大边的石英

各类岩石的轻、重矿物组合



(二) 岩屑 (Rock fragments)

岩屑是母岩岩石的碎块，是保持着母岩结构的矿物集合体。

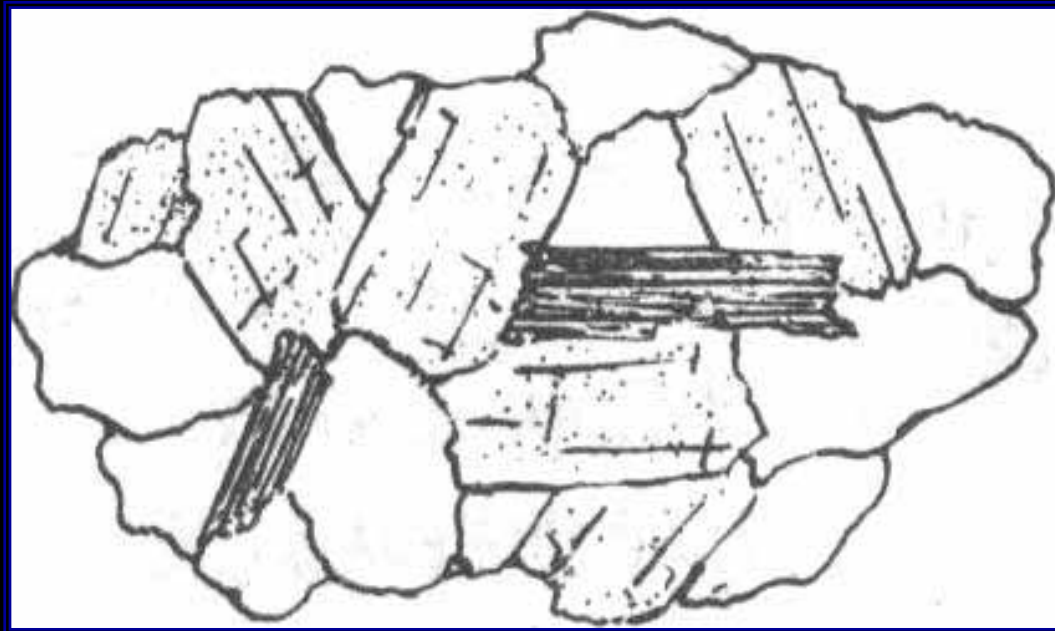
所以，岩屑是提供沉积物来源区的岩石类型的直接标志。

岩屑的含量决定于粒度、母岩成分及成熟度等因素。



在砂岩的碎屑中，岩屑的平均含量为10~15%，常见的岩屑类型有：

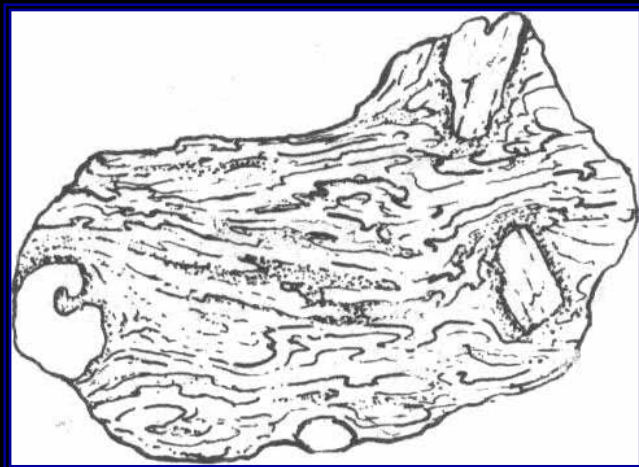
① **花岗岩岩屑**：花岗岩是地壳上分布最广的一类岩浆岩，沉积碎屑岩的主要母岩。



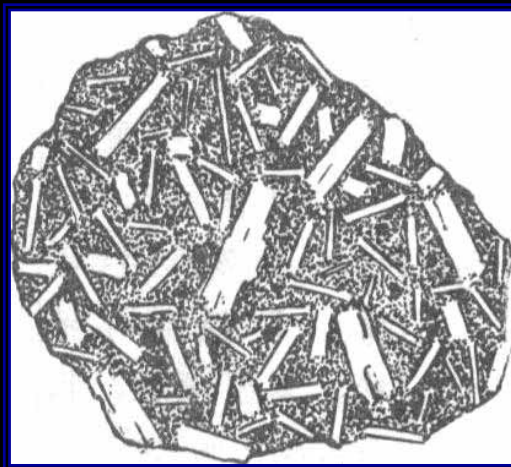


② 喷出岩岩屑：在砂岩中较丰富

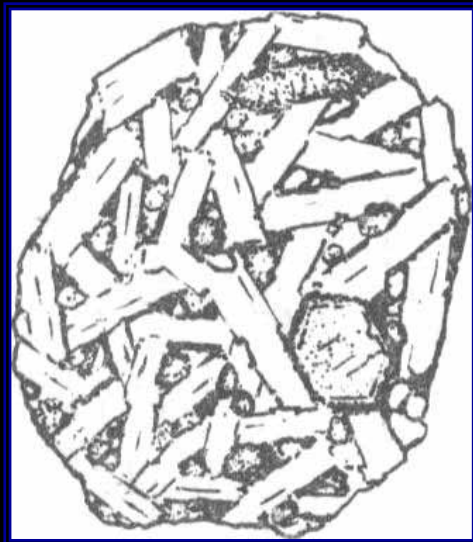
酸性



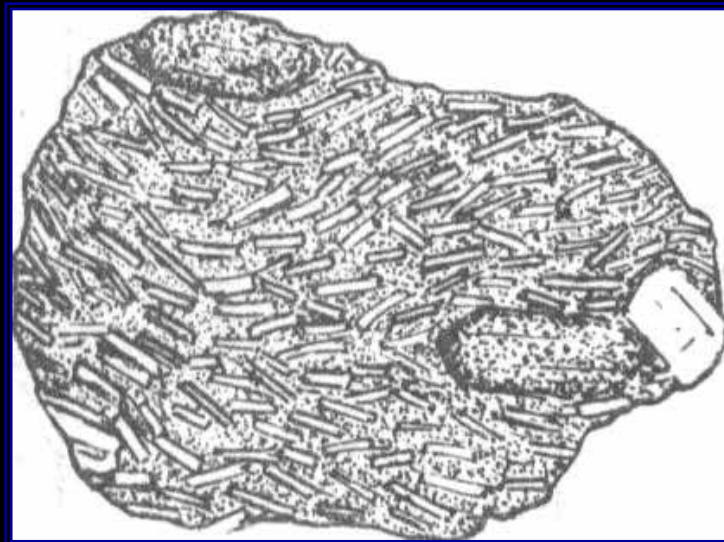
中性



基性

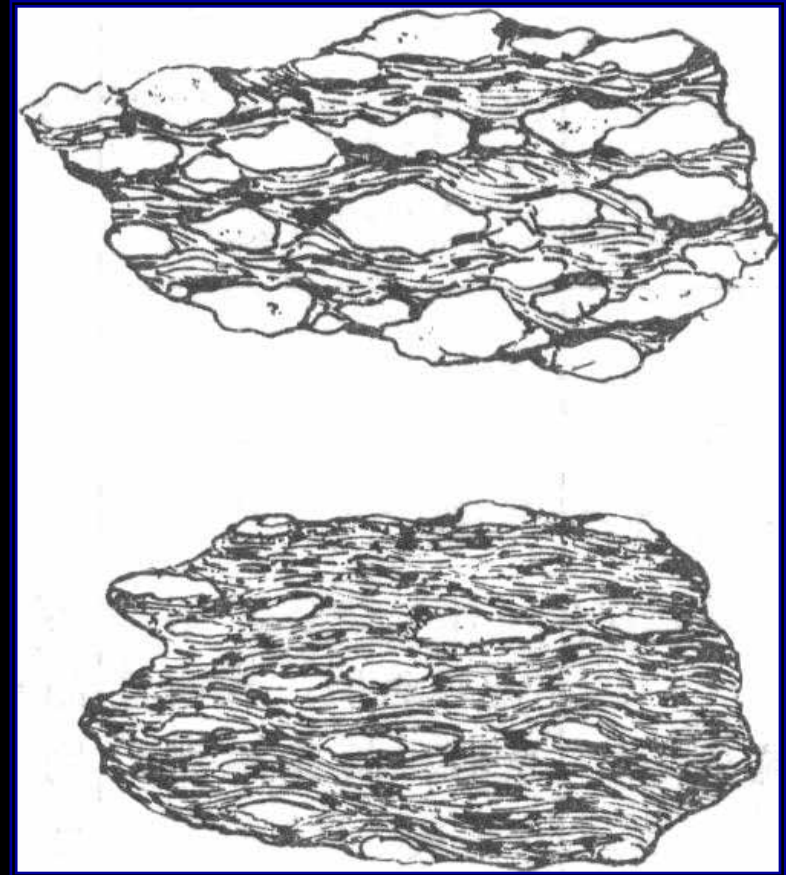
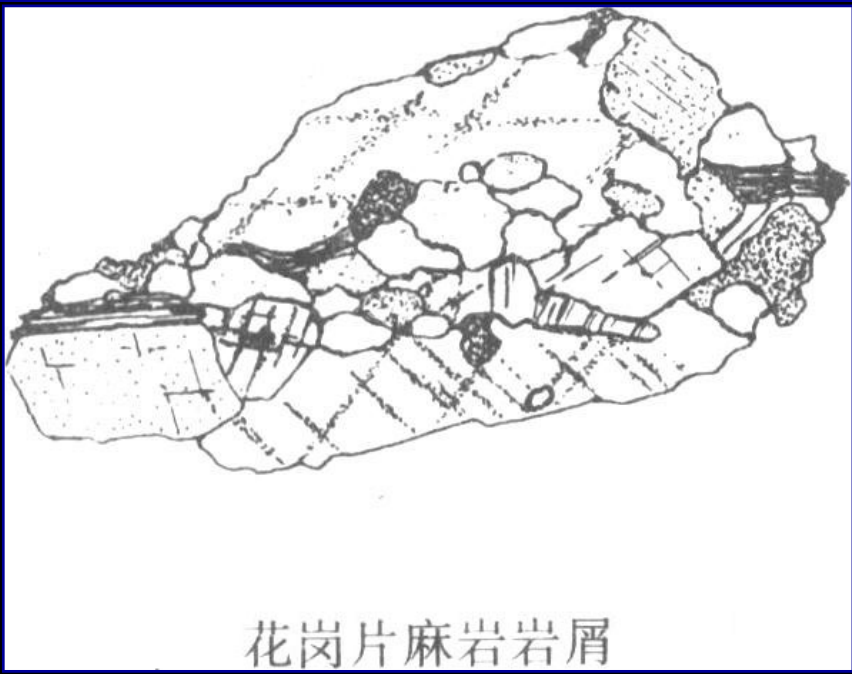


碱性



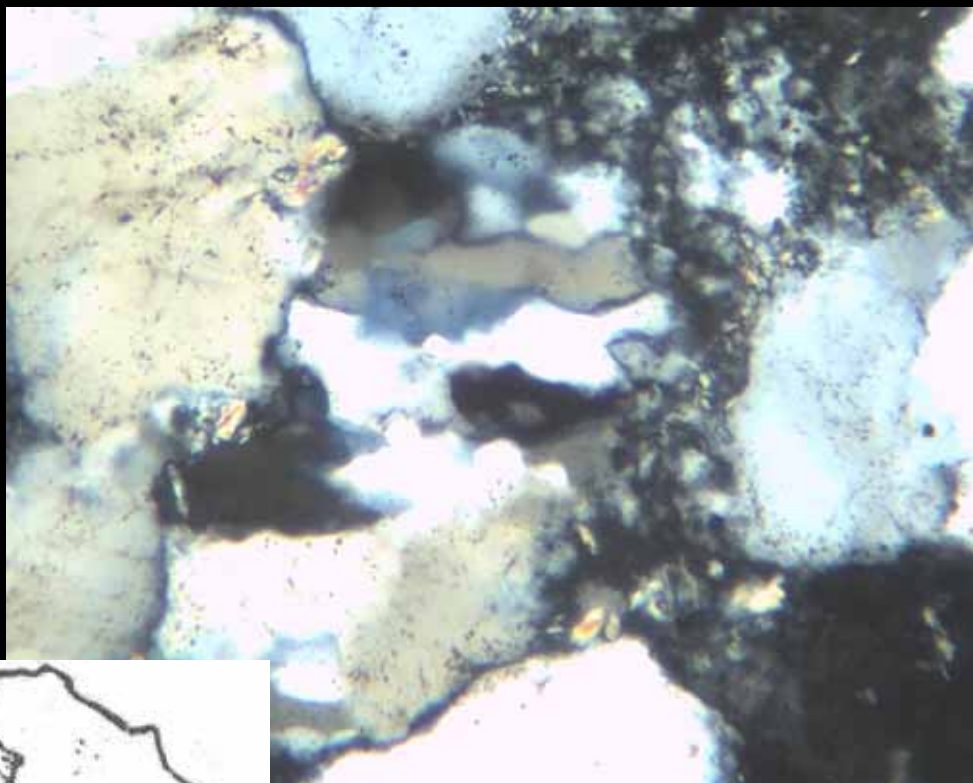


③片麻岩、片岩岩屑：易形成大量多晶石英



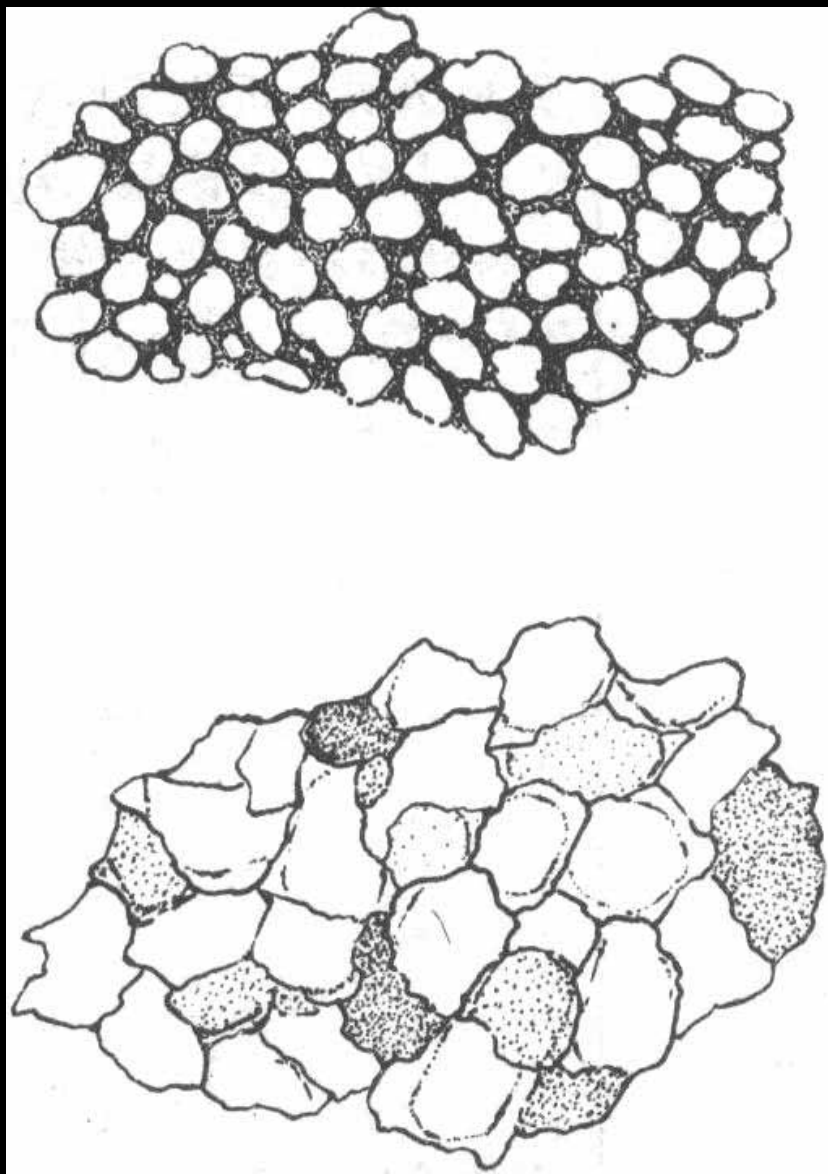


④ 脉石英岩屑



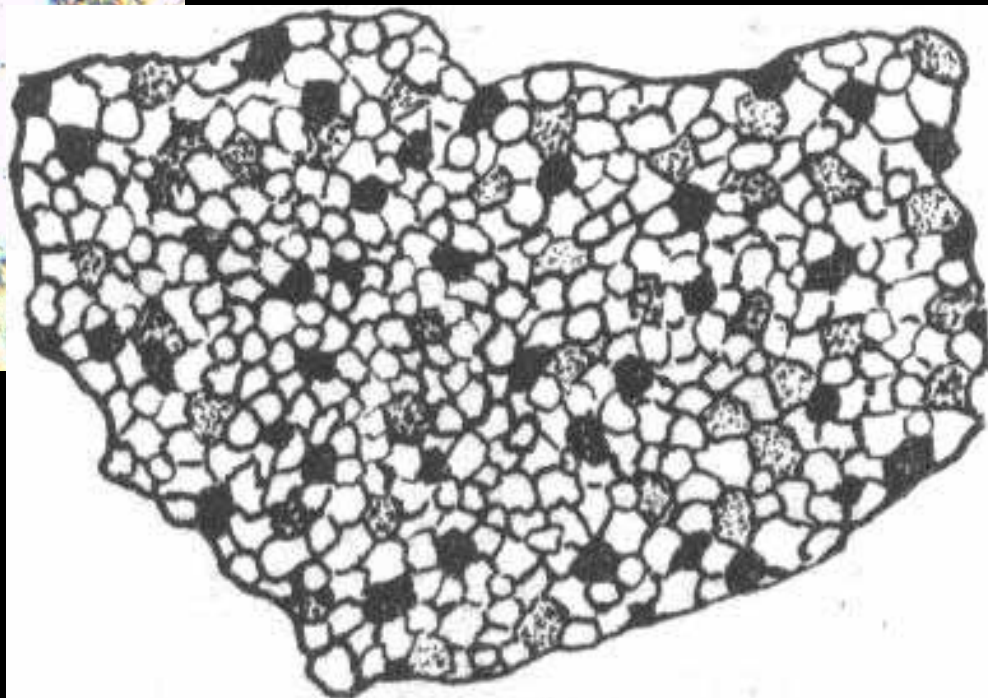
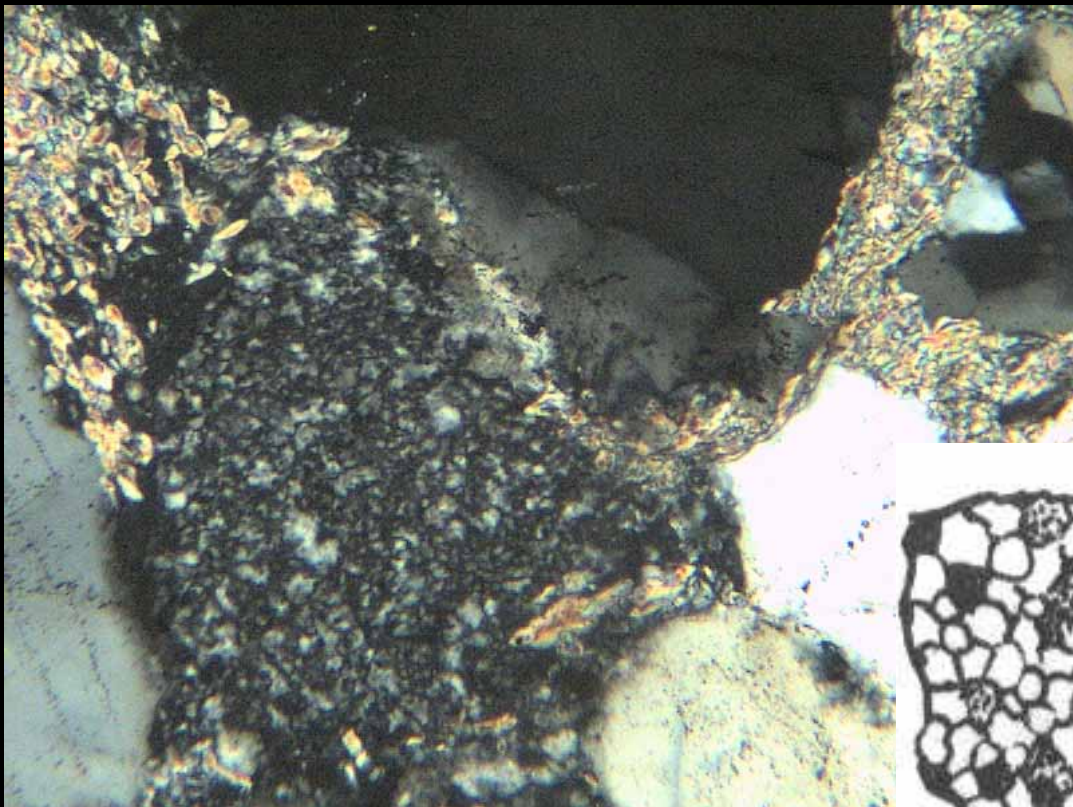


⑤ 石英砂岩岩屑：
较少或很少



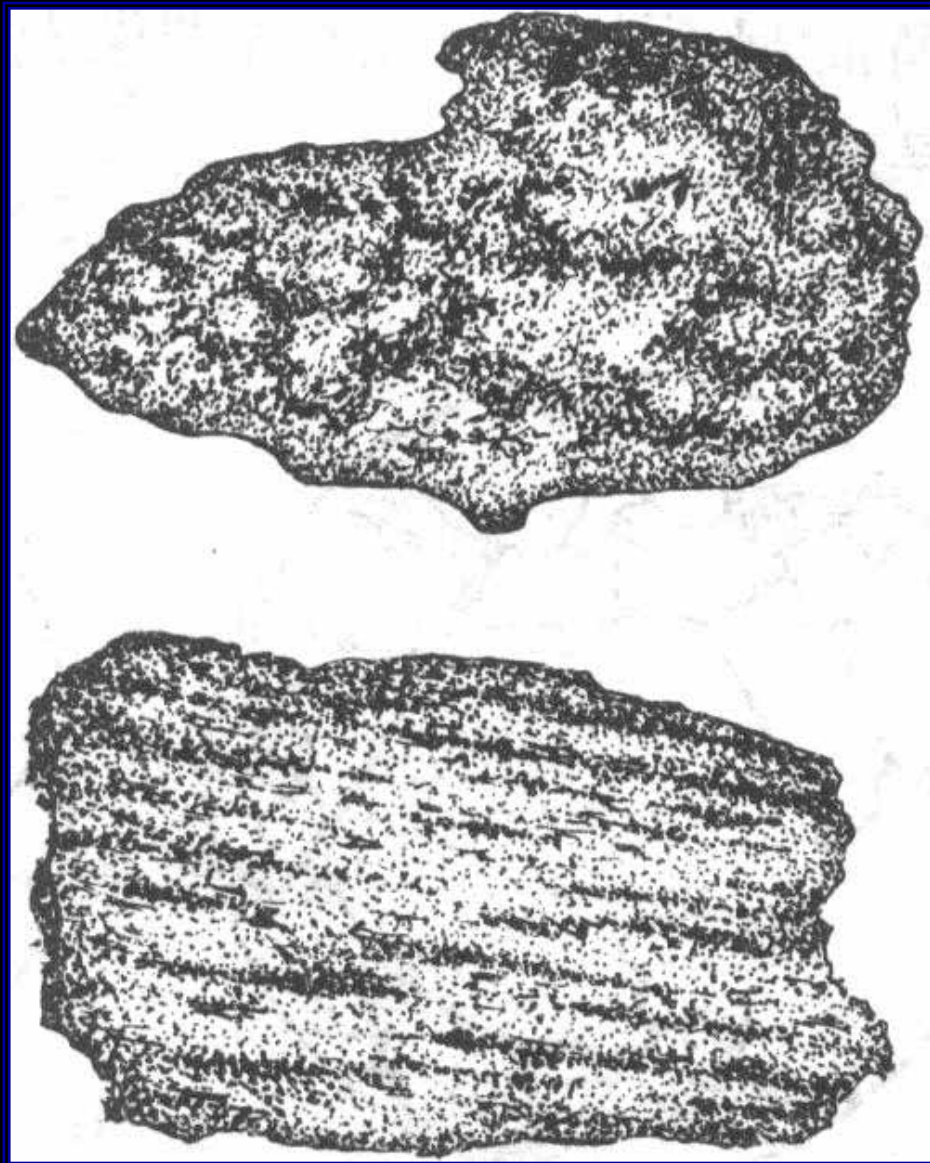
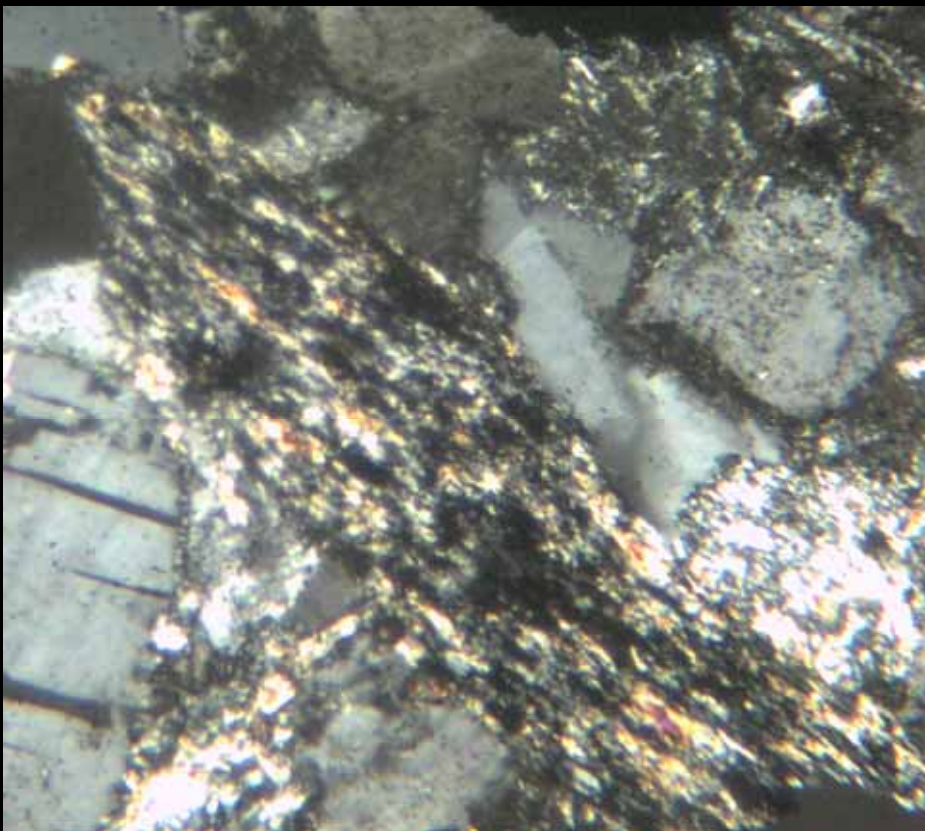


⑥燧石：稳定，抗风化能力较强



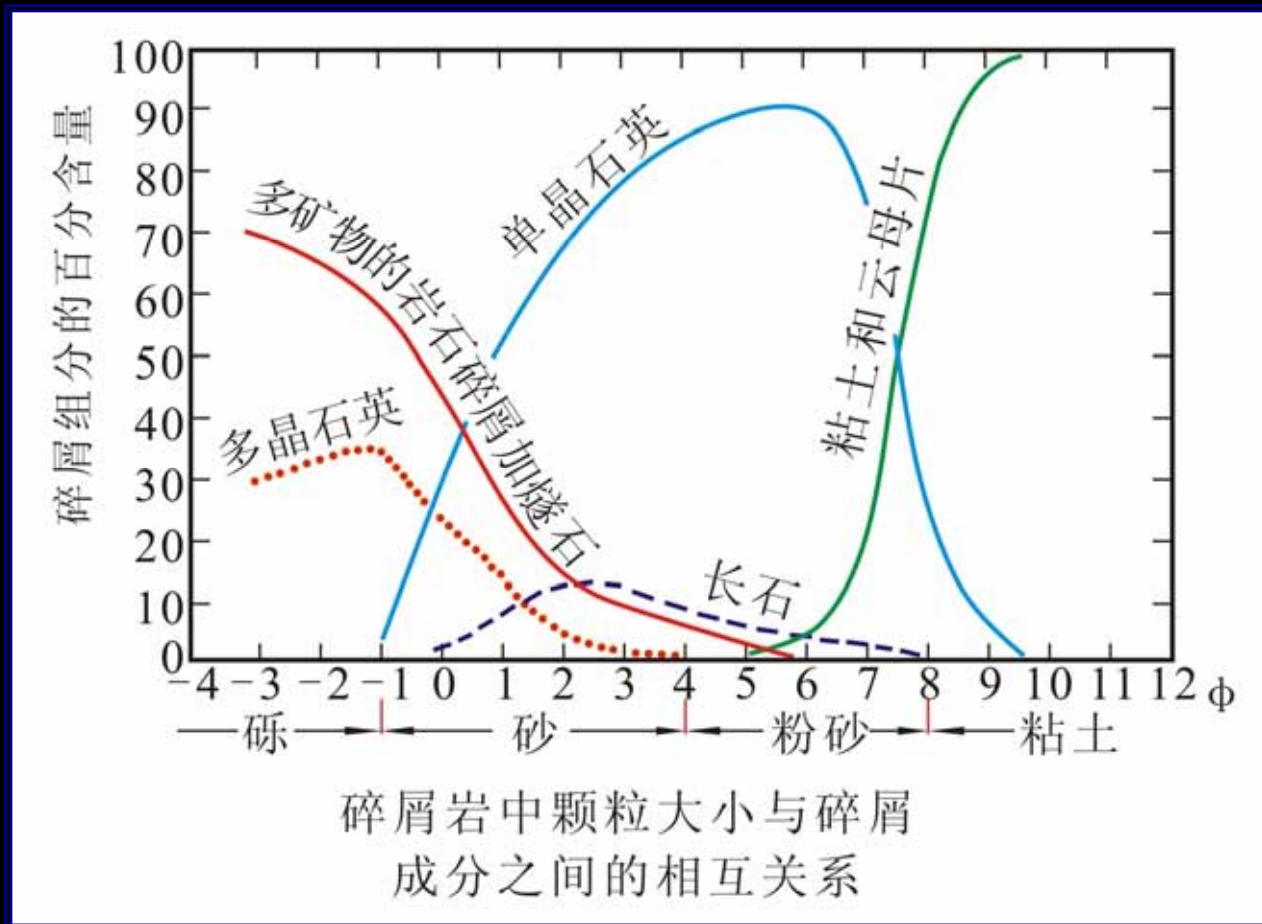


⑦ 粘土岩岩屑





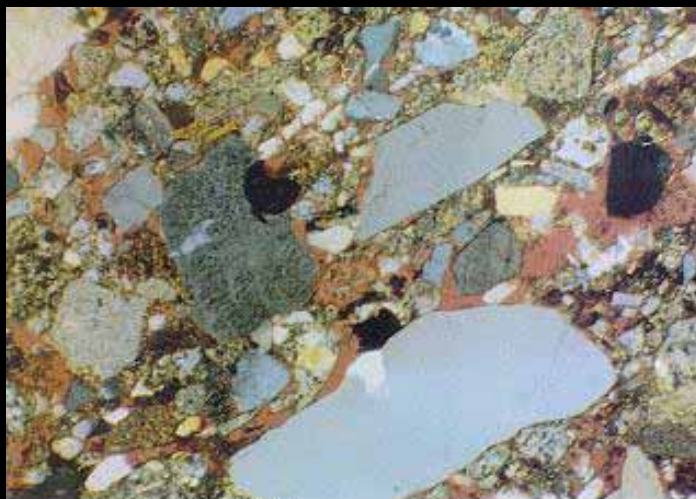
在碎屑岩中，碎屑成分与粒度分布具有一定关系。



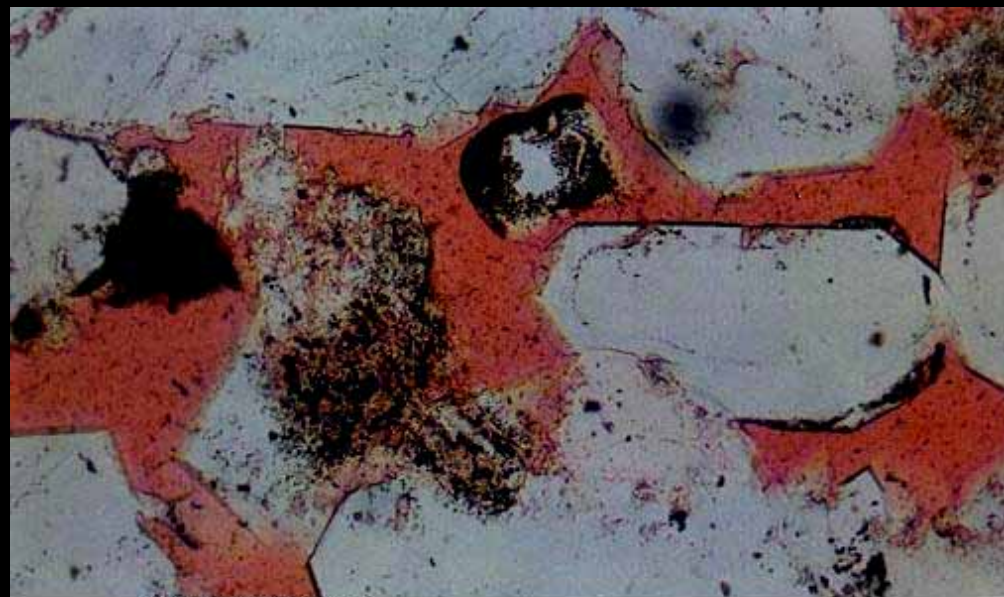


三、填隙物成分 (Interstitial minerals)

碎屑颗粒间的填隙物包括：**杂基**和**胶结物**



成岩作用弱
不等粒砂岩 (含油) 颗粒呈
点、线接触, 胶结松。正交偏光+试
板, $\times 80$ 。
侏罗系, 克拉玛依油田重17井
543.1m。



石英具次生加大
细-中粒石英砂岩 硅质胶结, 呈自形晶粒状加
大, 加大后残余粒间孔。红色铸体, 单偏光, $\times 95$ 。
侏罗系延安组, 长庆油田元16井1361.6m。

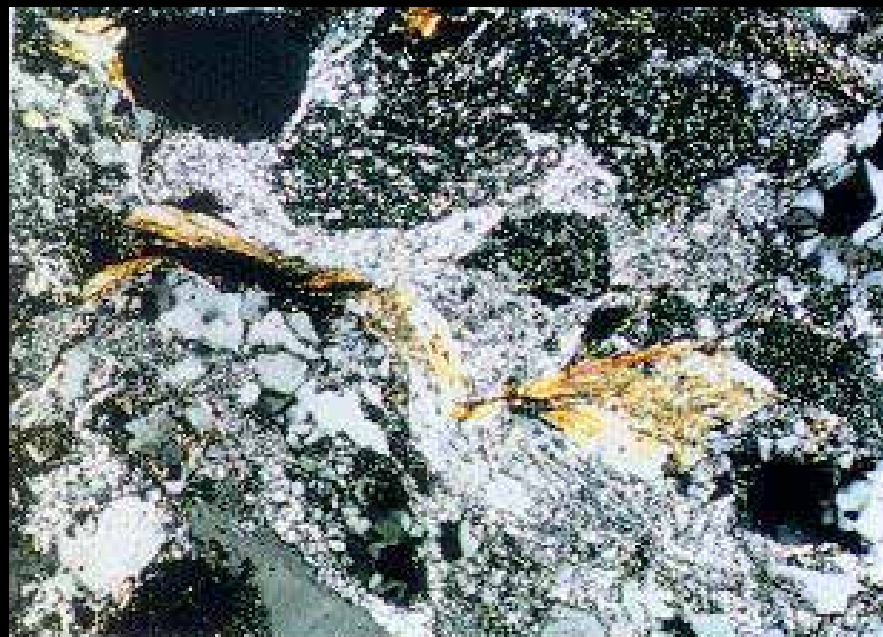
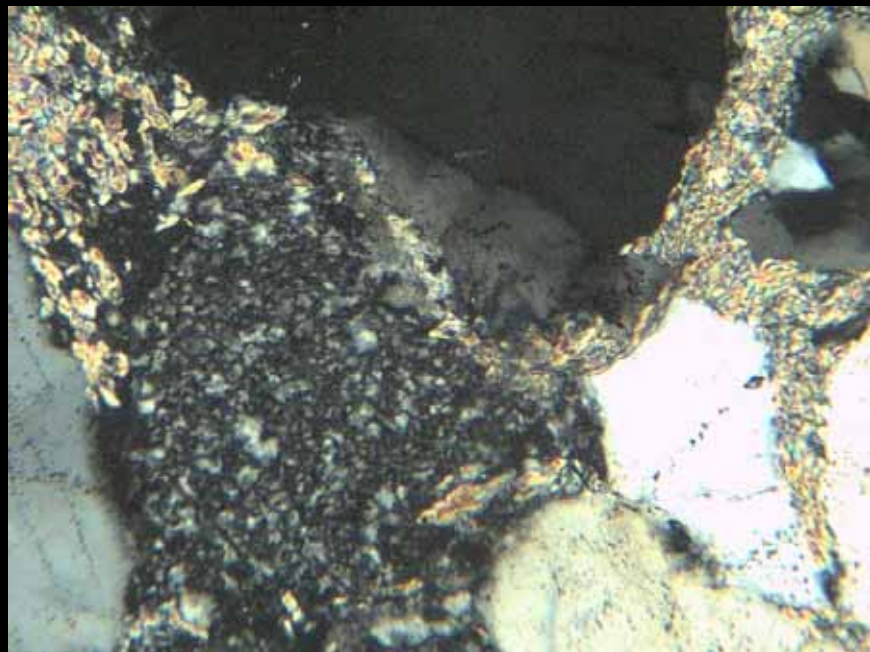


(一) 杂基 (Matrix)

1. **杂基**是碎屑岩中的**细小的机械成因**组分，其粒级以泥级为主，可包括一些细粉砂。

2. **杂基成分**：高岭石、水云母、蒙脱石等粘土矿物，亦见灰泥、云泥以及一些**细粉砂级碎屑**：绢云母、绿泥石、石英、长石等。

3. 不同碎屑岩中，杂基含量不同。**杂基含量高是不成熟砂岩的特征。**



杂基伊利石化
含泥细粒岩屑砂岩 黑云母被
挤压弯曲，并被菱铁矿交代，杂基伊
利石化。正交偏光， $\times 200$ 。
二叠系山西组，沁水盆地沁参1
井1107.7m。



冲积扇
扇根部位砾石呈扁平状排列。
云南五里桥冲积扇。



(二) 胶结物 (Cement)

胶结物是碎屑岩中以化学沉淀方式形成于粒间孔隙中的自生矿物。

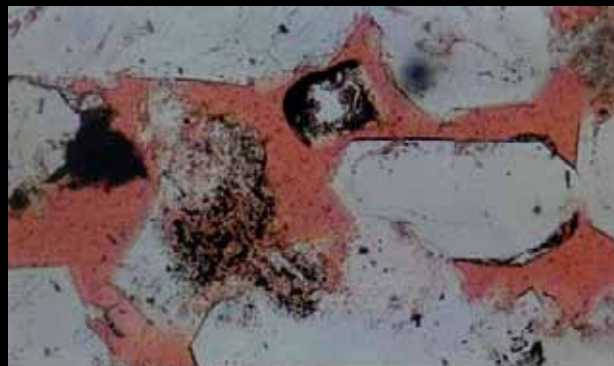
胶结物成分主要有：

- ◆ 硅质 (石英、玉髓、蛋白石)
- ◆ 碳酸盐 (方解石、白云石)
- ◆ 铁质 (赤铁矿、褐铁矿等)
- ◆ 硬石膏、石膏、黄铁矿
- ◆ 粘土矿物

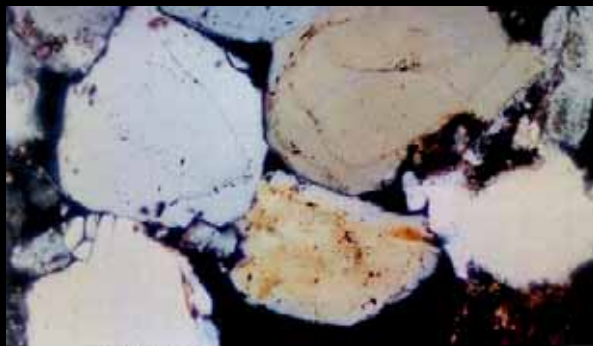
1. 硅质胶结物 (Siliceous cement)

包括非晶质的蛋白石、隐晶质的玉髓和结晶质的石英。

重结晶转变：蛋白石——玉髓——石英



石英具次生加大
细-中粒石英砂岩 硅质胶结，呈自形晶粒状加大，加大后残余粒间孔。红色铸体，单偏光，×95。
侏罗系延安组，长庆油田元16井1361.6m。



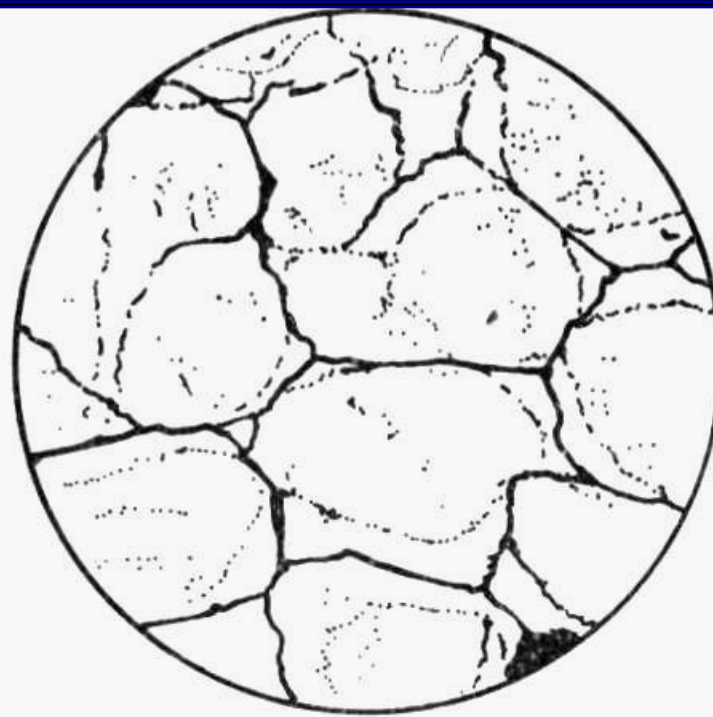
石英加大
中石英砂岩 硅质胶结，呈二次石英次生加大及加大残余粒间孔。正交偏光，×95。
侏罗系延安组，长庆油田岭3井2121.1m。



自生石英晶体
粗-中粒岩屑砂岩 自生石英晶完好。
SEM，×2700。
侏罗系三间房组，吐鲁番-哈密盆地温1井2486.7m。



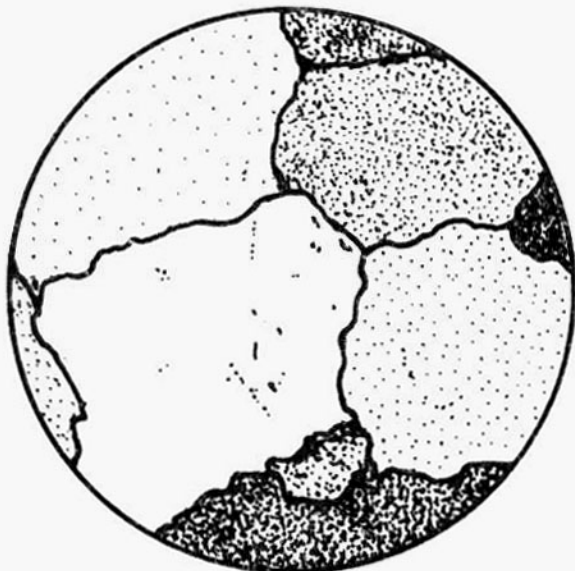
a



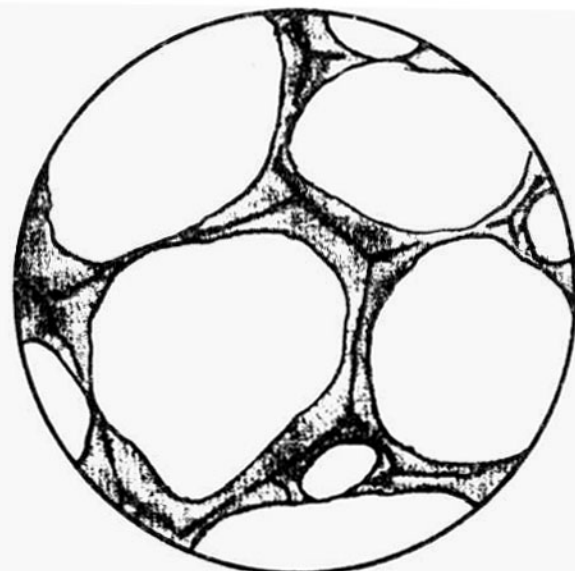
b

a—砂岩中因自生加大而恢复自形的石英颗粒
东濮,文 22 井下第三系, 单偏光, $200\times$;

b—海绿石石英砂岩中的自生加大石英,
河北唐山, 中、上元古界龙山组, 单偏光, $65\times$



左



右

沉积石英岩在正交偏光镜间见颗粒缝合接触(左图),
在阴极发光下揭示了碎屑颗粒的形状及广泛发育的石英自生加大现象 (右图
(据北京昌平中、上元古界常州沟组沉积石英岩显微照片素描)

有时石英颗粒边缘较干净，与自生加大边
之间无明确界线，需借助阴极发光才能看清。



硅质胶结物是由砂岩的过饱和孔隙水中沉淀出来的，孔隙水中溶解的 SiO_2 可以有不同的来源：

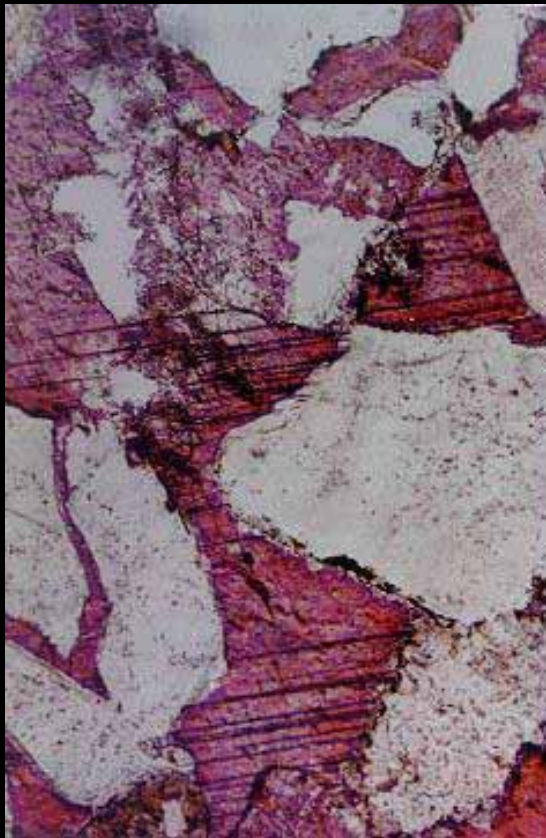
- ① 海相沉积物孔隙水中，大量硅藻、放射虫、硅质海绵以及其它非晶质氧化硅骨骼发生溶解。
- ② 在强大压力下，石英颗粒的局部溶解。
- ③ 长石、粘土矿物等硅酸盐矿物以及火山玻璃等物质的分解。



2. 碳酸盐胶结物 (Carbonate cement)

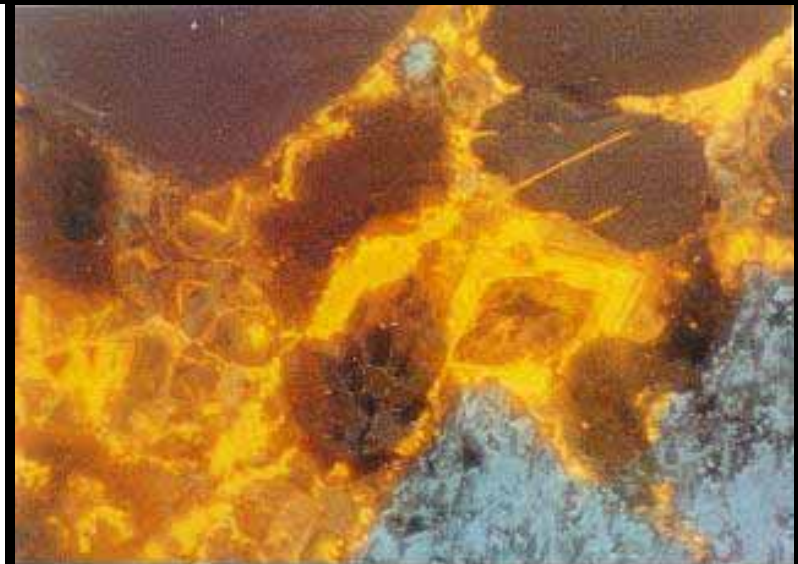
在砂岩中最常见的碳酸盐胶结物是方解石。

由方解石胶结的砂岩常形成嵌晶结构。



晚期方解石胶结及交代碎屑
细-中粒石英砂
岩石 铁方解石交
代粘土基质及火山
岩岩屑等。复合液
染色，单偏光，
×63。

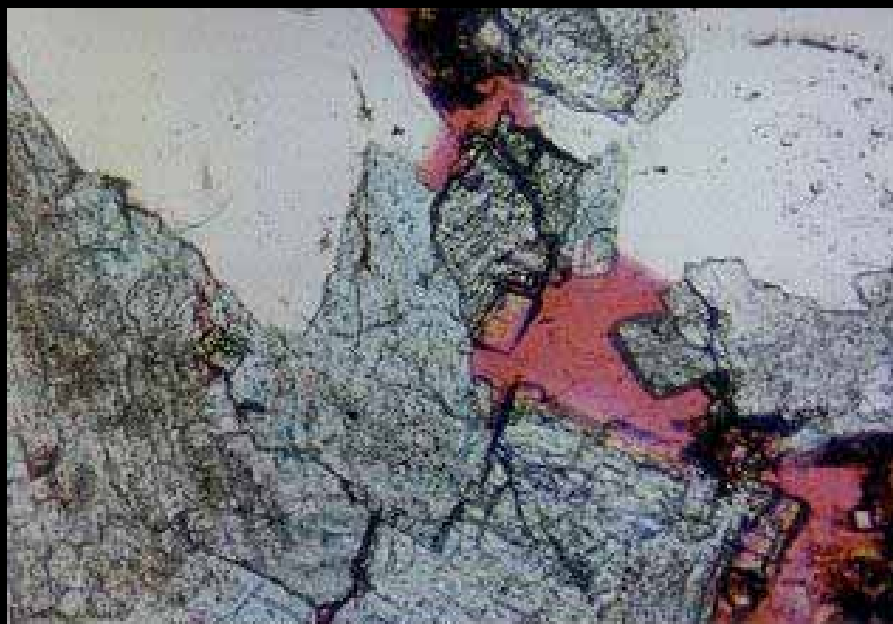
二叠系下石盒
子组，长庆油田麒
参1井2592.7m。



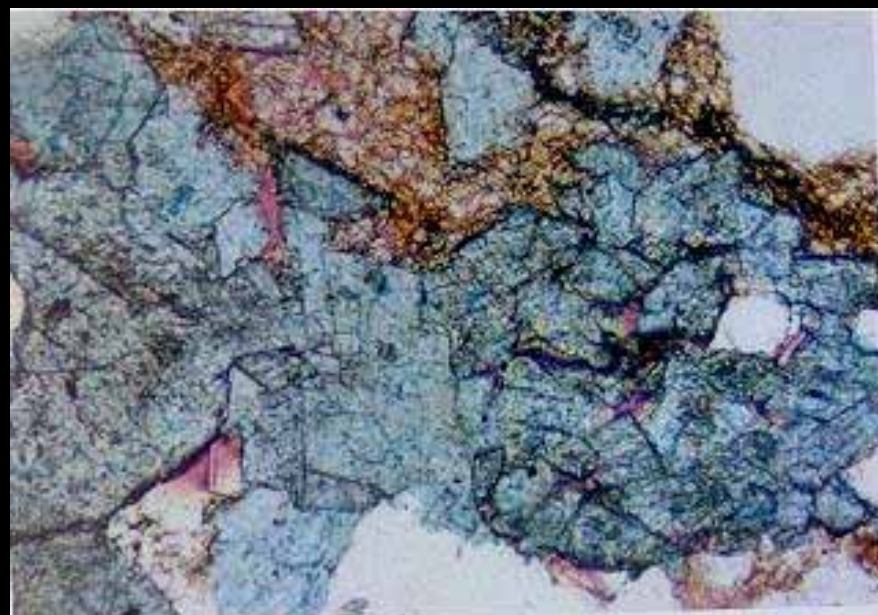
方解石胶结
砾岩 桔红色为方解石胶构物。
CL，单偏光，正交偏光，×140。
二叠系乌尔禾组，克拉玛依油田
8526井2446.0m。



铁白云石胶结物



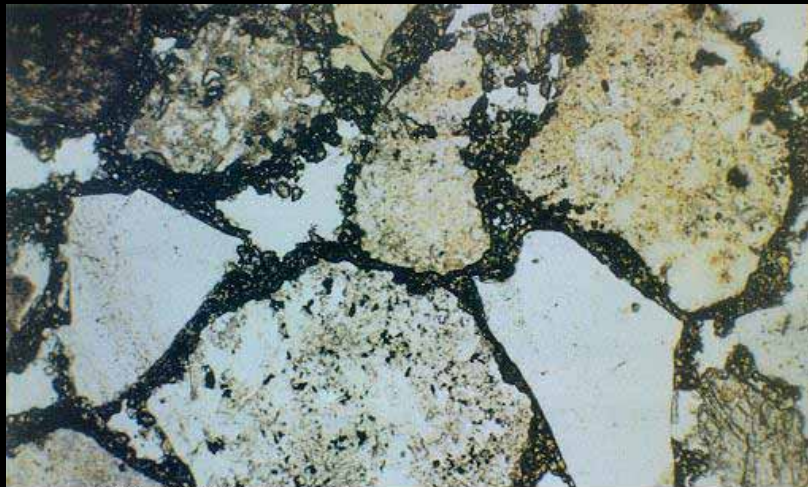
铁白云石胶结
中粒石英砂岩 铁白云石交代
火山岩岩屑。复合液染色，单偏光，
×63
石炭系太原组，长庆油田麒参1
井2752.8m。



铁白云石胶结和交代
中粒石英砂岩 铁白云石交代长
石、伊利石，并充填残余粒间孔。复
合液染色，单偏光，×63
石炭系太原组，长庆油田麒参1井
2771.2m。

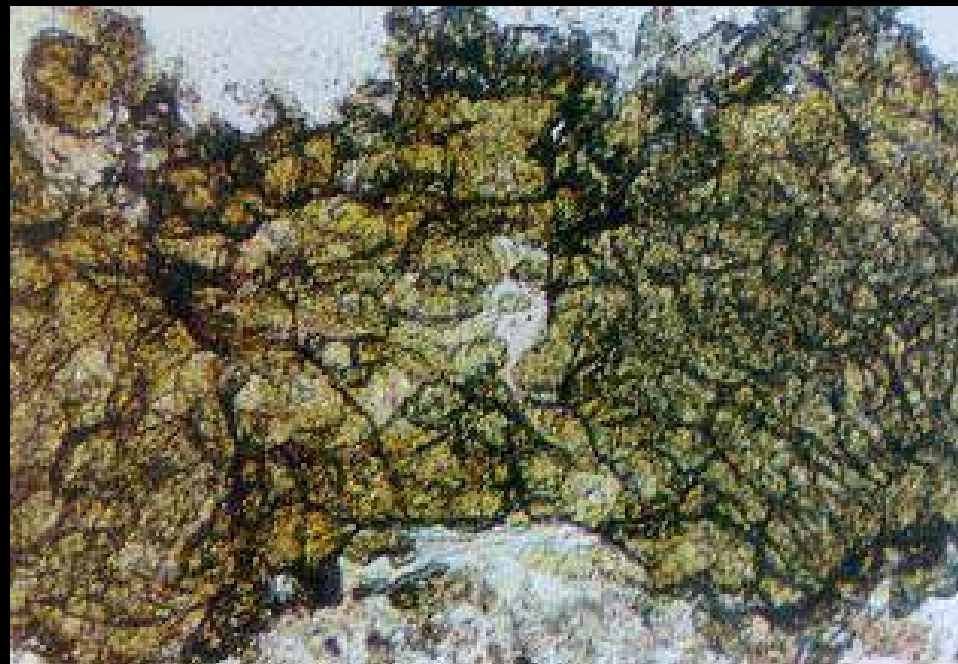


菱铁矿胶结物



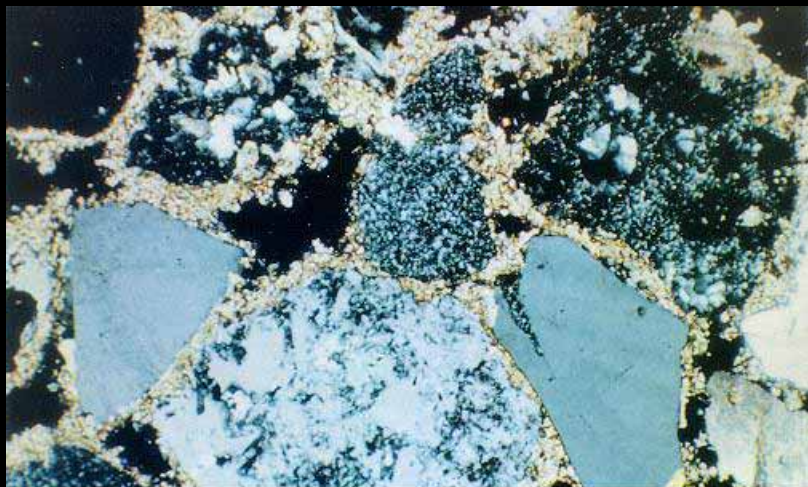
菱铁矿胶结

砾岩 胶结物为菱铁矿，呈微粒状生长在碎屑颗粒周围，形成丛生结构（或称栉壳结构），具有大量粒间孔隙，为有利储层。单偏光， $\times 105$ 。
三叠系，克拉玛依油田435井2120.1m。



菱铁矿胶结和交代

中粒石英砂岩 菱铁矿交代长石、岩屑、粘土矿物。2047.5~2052.9m井段日产气 $0.618 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，单偏光， $\times 63$



菱铁矿胶结

砾岩 胶结物为菱铁矿，呈微粒状生长在碎屑颗粒周围，形成丛生结构（或称栉壳结构），具有大量粒间孔隙，为有利储层。正交偏光， $\times 105$ 。
三叠系，克拉玛依油田435井2120.1m。

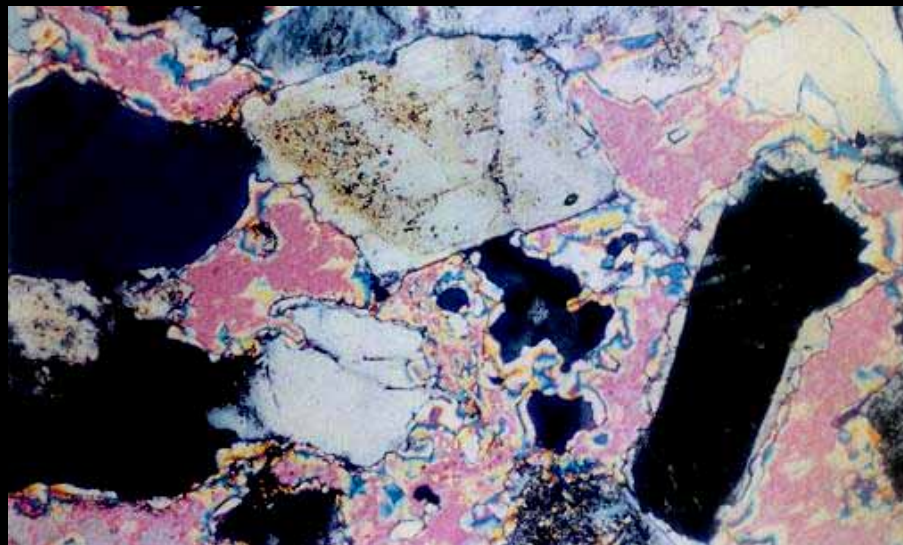
二叠系山西组，长庆油田铺3井2057.6m。



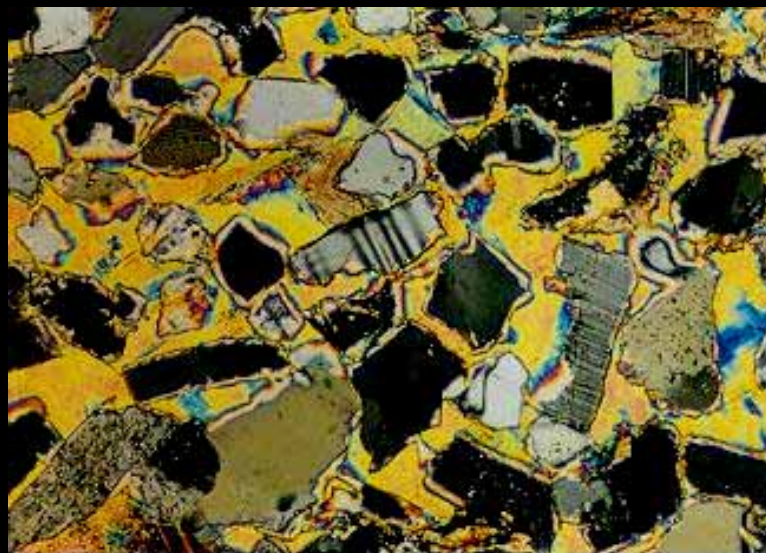
3. 其它类型的胶结物

① 氧化铁：赤铁矿、纤铁矿、针铁矿

② 石膏及硬石膏



硬石膏胶结
粗-中粒石英砂岩 长石次生加大，硬石膏充填
粒间孔并交代长石、泥质岩屑。正交偏光 ×28。
侏罗系延安组，长庆油田定58井1420.1m。



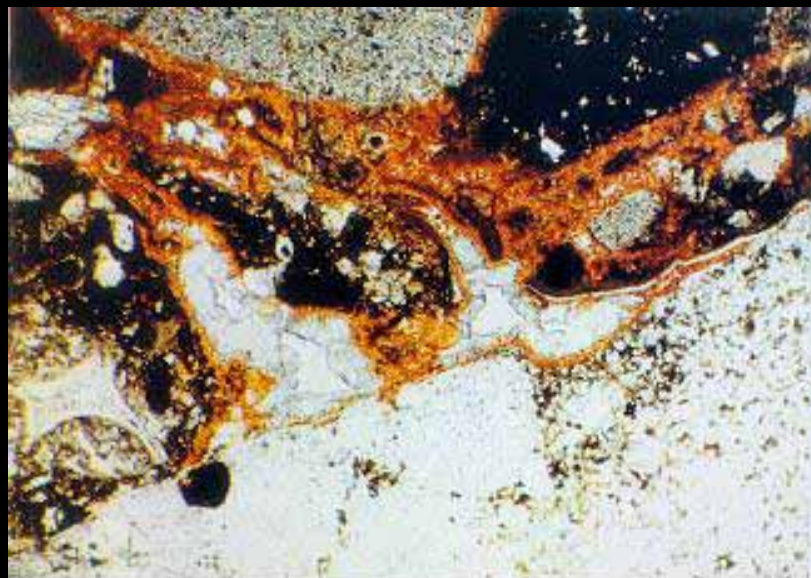
硬石膏胶结
细粒砂岩 早期石膏连晶基底式
胶结，后期石膏脱水转化为硬石膏。
 $\phi=0.4\%$, $k=0.008 \times 10^{-3} \text{um}^2$ 。正交偏
光，×120。
下第三系新沟咀组，江汉油田金6
井2329.8~2339.3m。



③ 磷灰石、沸石、海绿石等



方沸石胶结
砂砾岩 方沸石胶结物。中间为残留孔隙。红色
铸体，单偏光， $\times 75$ 。
二叠系，克拉玛依油田817井 3011.6m。



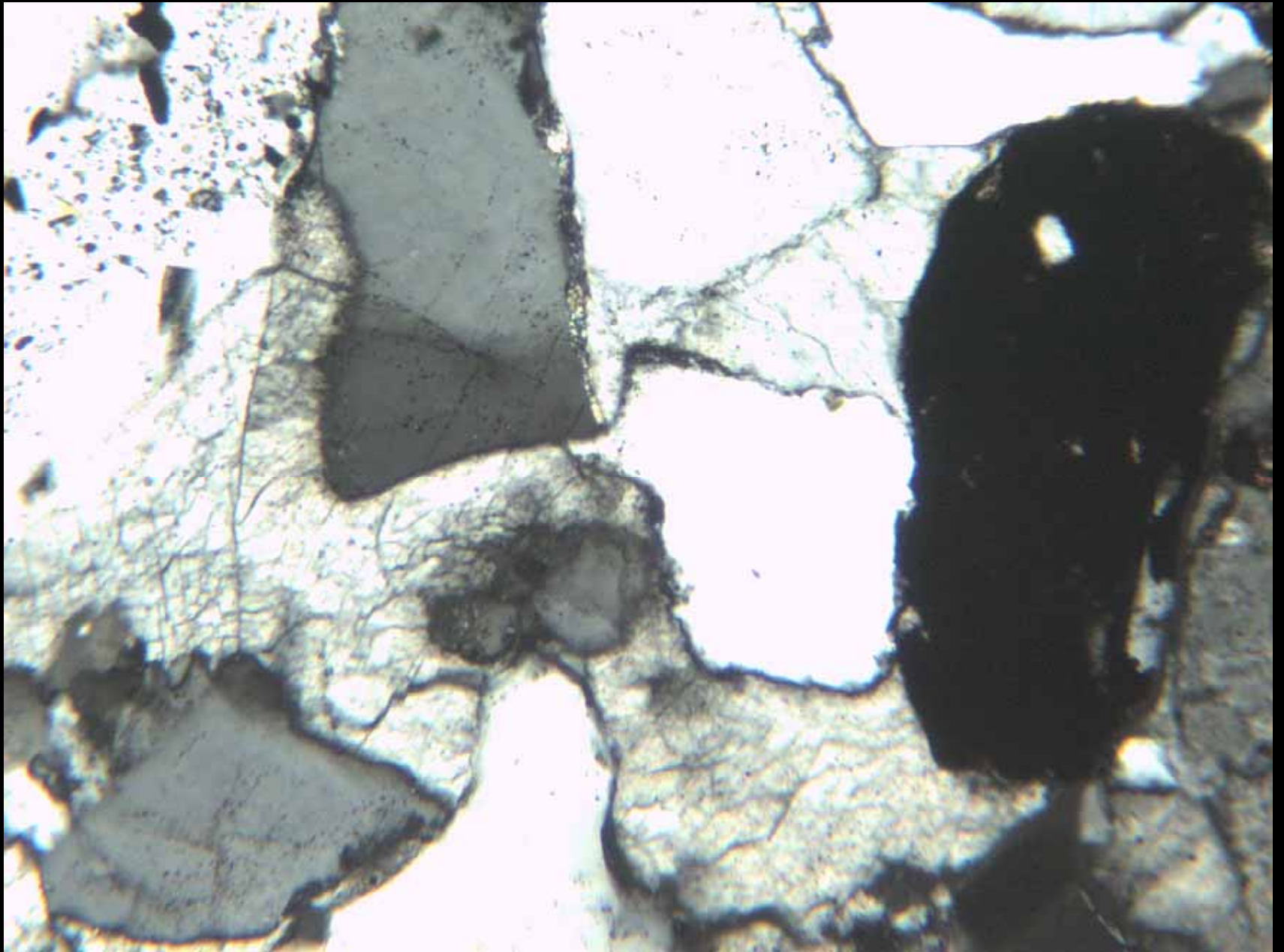
沸石胶结
砾岩 粒间孔中有片沸石、方
沸石充填，方沸石有溶解。单偏光，
 $\times 55$ 。
二叠系，克拉玛依油田百乌7井
2683.6m。



浊沸石胶结
砾石 片沸石后又充填浊沸石。
单偏光, $\times 80$ 。
二叠系, 克拉玛依油田百鸟7井
2683.6m。

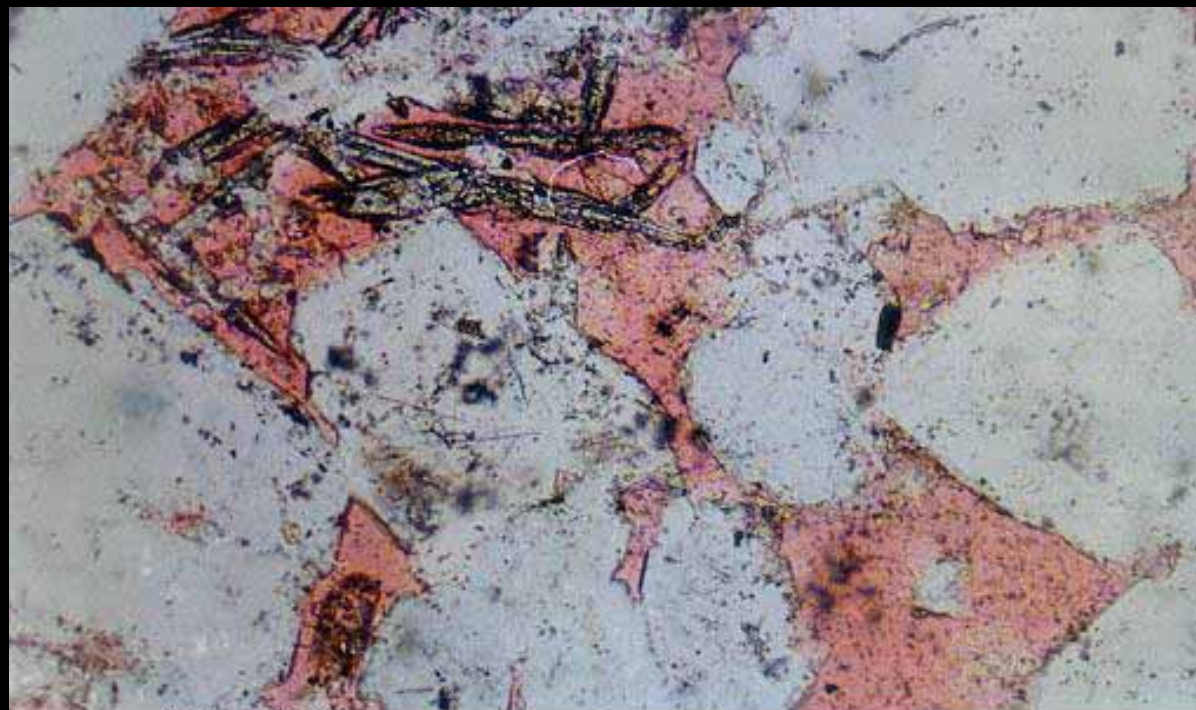


片沸石特征
砾岩 片沸石。SEM, $\times 3700$ 。
二叠系, 克拉玛依油田百鸟7井 2666.0m。

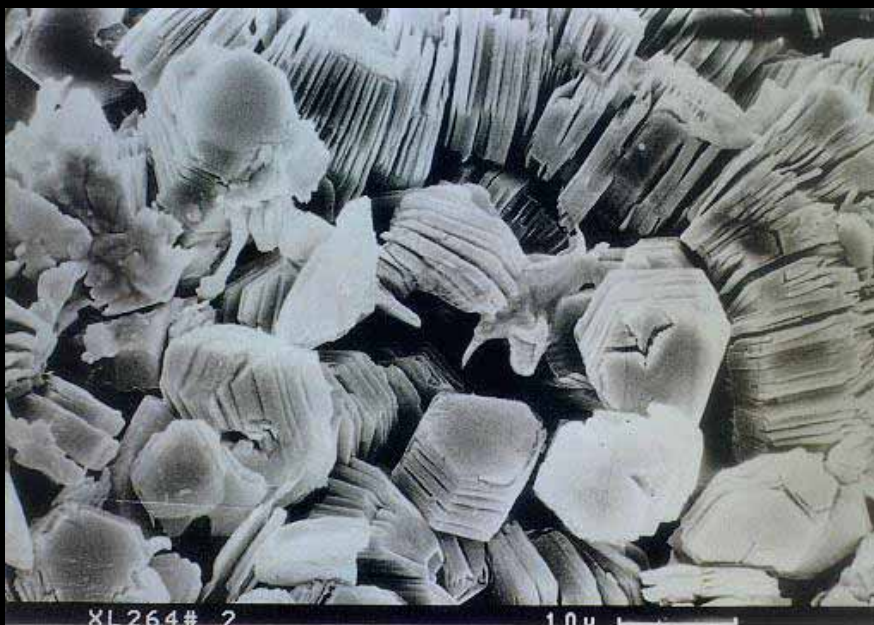




④重晶石、天青石、高岭石、水云母、蒙脱石、萤石、岩盐、钾盐、黄铁矿、绿泥石等



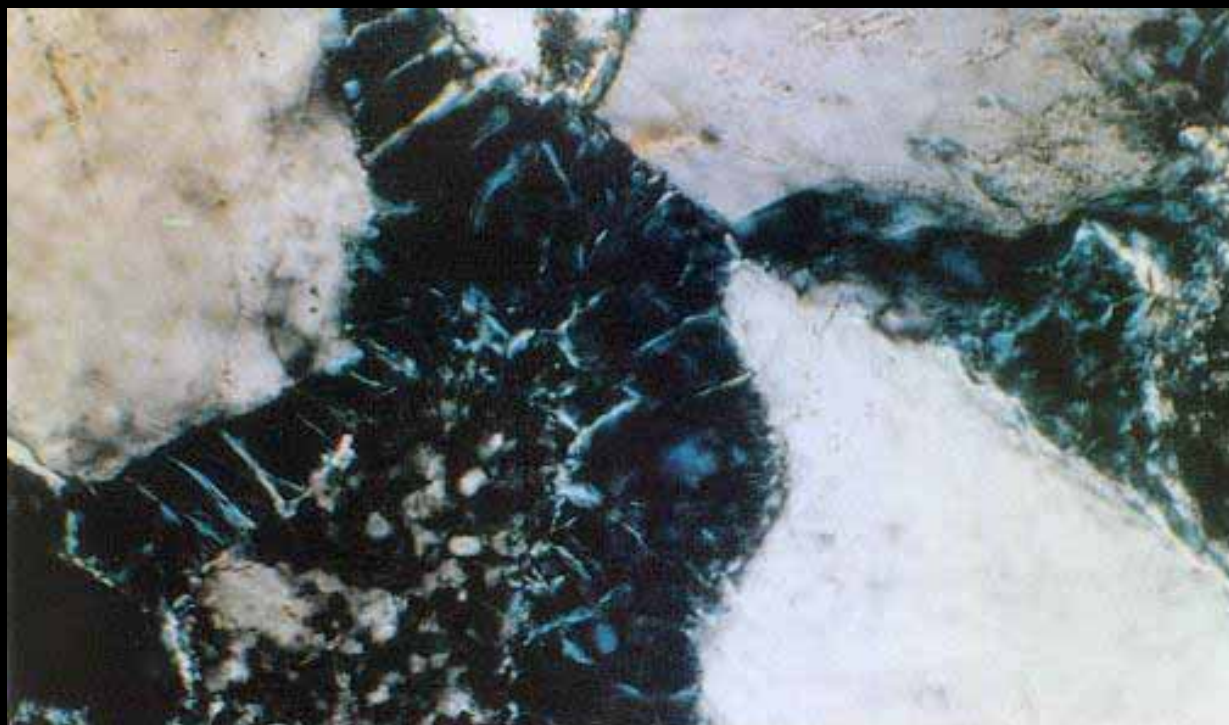
重晶石胶结
中粒石英砂岩 自生长柱状重晶石充填扩大粒间孔。红色铸体，单偏光， $\times 95$ 。
侏罗系延安组，长庆油田元25井1338.5m。



XL264# 2
自生高岭石
砂岩 书页状自生高岭石充填于粒间孔隙。SEM,
×2300。
侏罗系延安组, 长庆油田新岭264井。



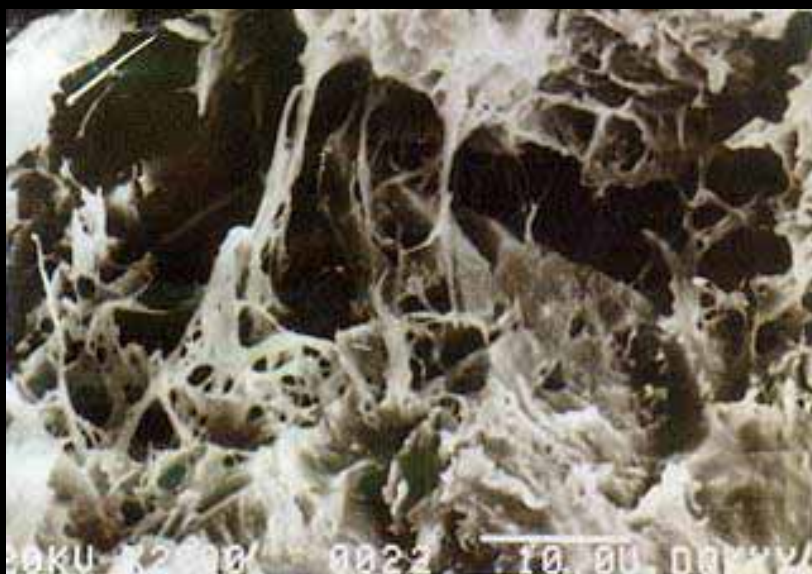
自生高岭石
粗-中粒石英砂岩 自生高岭石晶体。
SEM, ×3600。
侏罗系三间房组, 吐鲁番-哈密盆地温
1井2807.0m。



丝状伊利石搭桥
细粒砂岩 孔隙、喉道内伊利石搭桥。正交偏光， $\times 714$ 。
白垩系，大庆油田宋3井1284.7m。



丝状伊利石搭桥
细粒砂岩 孔隙、喉道内伊利石搭桥。正交偏光， $\times 700$ 。
白垩系，大庆油田宋3井1284.7m。



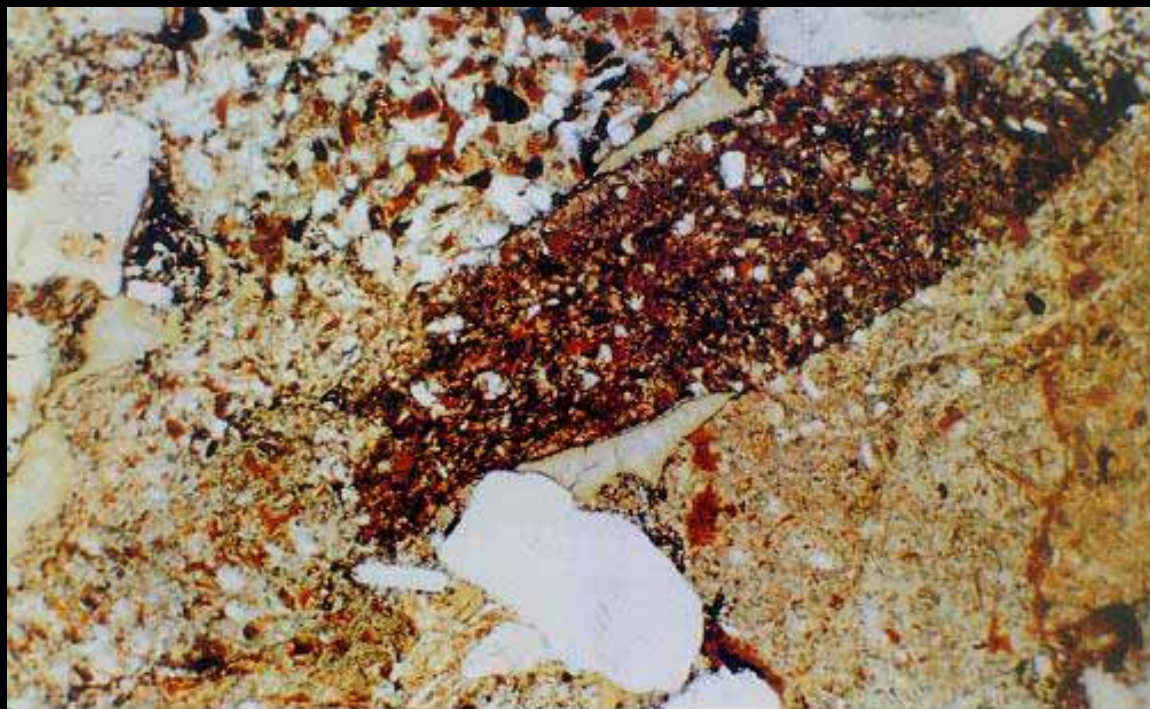
丝状伊利石
细粒砂岩 孔喉内纤维状、丝状伊利石呈网状充填，影响喉道。
 $\phi=12.2\%$, $k=0.23 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。SEM, $\times 2000$ 。

白垩系，大庆油田树116井
2045.0m。



纤维状伊利石
细粒砂岩 粒间孔隙、喉道内纤维、发丝状伊利石丛生、搭桥、影响喉道。SEM, $\times 2000$ 。

白垩系，大庆油田升62井
1990.9m。



绿泥石胶结
凝灰质砂砾岩 绿泥石充填孔隙。单偏光, $\times 82$ 。
二叠系, 克拉玛依油田9571井1932.5。



绒球状绿泥石
能谱分析结果:
成分, %
MgO 7.53
FeO 19.88
Al₂O₃ 19.83
SiO₂ 43.58
SEM, $\times 1700$ 。
辽河油田曙66井。



	碎屑颗粒	杂基	化学胶结物	孔隙
含义	母岩机械破碎的颗粒,是碎屑岩的主体和骨架,决定着碎屑岩的主要特征	与碎屑颗粒同时沉积下来并充填在碎屑颗粒之间的细小机械混入物,其粒级与碎屑颗粒有明显区别	在碎屑颗粒沉积之后由粒间孔隙水中某些物质达到过饱和时而产生化学沉淀的物质,对碎屑颗粒起着胶结作用	碎屑岩中未被固体物质充填的碎屑颗粒之间的那一部分空间,沉积时或沉积后形成的
分布状况及所起的作用	岩石的主体和骨架	充填于碎屑颗粒之间,起胶结作用	碎屑颗粒之间、杂基之间的空孔隙,起主要胶结作用	分布于碎屑颗粒之间
搬运方式	挪动、滚动、跳跃	悬浮	溶解	
沉积方式及控制因素	机械沉积,受流体力学定律支配	机械沉积,受流体力学定律支配	化学沉积,受化学和物理化学定律支配	
水动力条件	强而稳定	由强急剧减弱	强而稳定	水动力强而稳定时,孔隙多
形成阶段	二者同时沉积		同生、成岩、后生	沉积时或沉积后



四、化学成分 (Chemical composition)

碎屑岩的成分可以用所含矿物成分表示，也可以用化学成分表示。

化学成分对岩浆岩、变质岩的研究十分重要。当前化学分析方法在研究碎屑岩中的应用还是日趋广泛。



砂岩中不同碎屑组分的砂岩，其化学成分特点亦不相同

主要砂岩类型的平均化学组分

砂岩类型 化学成分	石英砂岩	岩屑砂岩	长石砂岩
SiO ₂	95.4	66.1	77.1
Al ₂ O ₃	1.1	8.1	8.7
Fe ₂ O ₃	0.4	3.8	1.5
FeO	0.2	1.4	0.7
MgO	0.1	2.4	0.5
CaO	1.6	6.2	2.7
Na ₂ O	0.1	0.9	1.5
K ₂ O	0.2	1.3	2.8
CO ₂	1.1	5.0	3.0

注：石英砂岩 26 个分析样品，岩屑砂岩 20 个分析样品，长石砂岩 32 个分析样品。



化学成分与粒度之间存在明显关系

化学成分与粒度的关系

(据裴蒂庄, 1975)

组成	细砂	粉砂	粗粘土	细粘土	组成	细砂	粉砂	粗粘土	细粘土
SiO ₂	71.15	61.24	48.07	40.61	MgO	1.66	3.31	3.56	3.19
TiO ₂	0.50	0.85	0.89	0.79	CaO	3.65	5.11	4.96	6.24
Al ₂ O ₃	10.16	13.30	18.83	18.97	Na ₂ O	0.86	1.32	1.17	1.19
FeO	3.72	3.94	6.91	7.42	K ₂ O	2.20	2.33	2.57	2.62

注：资料来源：依格劳特 (Grout, 1925)。

粗  细 SiO₂减少, Al₂O₃和FeO 增加 



五、成分成熟度

成熟度——指碎屑物质在风化、搬运过程中，被改造趋向于最终产物的程度。

碎屑物质被改造趋向于的最终产物是什么样
的程度？

◆**化学成分与矿物成分**： SiO_2 、 Al_2O_3 含量；石英、长石、岩屑等含量 **成分成熟度**

◆**结构**：圆度、球度、分选性等方面 **结构成熟度**



成分成熟度——指碎屑物质**成分**上被改造趋向于最终产物的程度，亦称“**化学成熟度**”或“**矿物成熟度**”。

化学成分： SiO_2 含量高， Al_2O_3 含量少

矿物成分：石英含量高，长石、岩屑等含量少



成熟度指数——判别砂岩或其它碎屑岩在化学上及在矿物学上成熟度高低的一个指数：

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, Q/F , $Q/(F+R)$, ZTR

Q = Quartz 石英

F = Feldspar 长石

R = Rock fragments 岩屑

Z = zircon 锆石

T =tourmaline 电气石

R =rutile 金红石



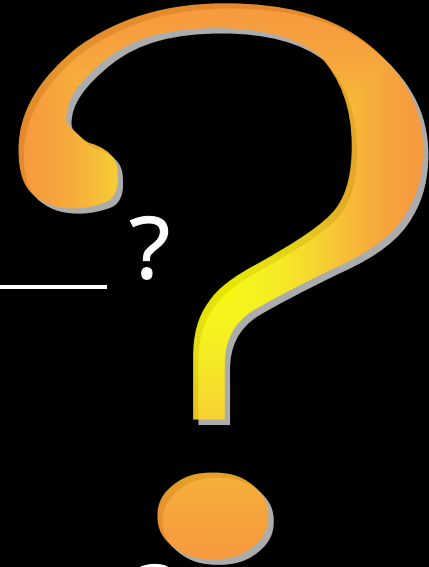
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, Q/F , $Q/(F+R)$, ZTR
值与成分成熟度的关系？

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 越大，成分成熟度越_____？

Q/F 越大，成分成熟度越_____？

$Q/(F+R)$ 越大，成分成熟度越_____？

ZTR 越大，成分成熟度越_____？





按成分成熟度来划分，砂岩可以分为**成熟砂岩**和**未成熟砂岩**。

成熟的砂岩——以最稳定组分Q为主， $Q > 75\%$ ，甚至90%以上， SiO_2 含量极高， Al_2O_3 含量极低， $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值高。

未成熟的砂岩——最稳定组分含量低，不稳定组分含量高， $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值低，如长石砂岩、岩屑砂岩。



本节要点：

- 陆源碎屑岩的四种基本组成部分
- 碎屑颗粒、杂基、胶结物及孔隙四种组分的区别（从含义、在碎屑岩中的分布状况及所起的作用、搬运方式、沉积方式及控制因素、水动力条件、形成阶段等方面）（重点）
- 成熟度和成分成熟度的概念、成熟度指数的含义（重点）