



第五节 碳酸盐沉积物的成岩作用

(Diagenesis about Carbonate Sediments)

碳酸盐沉积物形成阶段

成岩作用阶段

碳酸盐岩

后生作用阶段

变质作用

风化作用

沉积后作用

成岩作用

后生作用



一、主要的成岩作用类型

1. 溶解作用

2. 碳酸钙矿物的转化作用和重结晶作用

3. 胶结作用

4. 交代作用

5. 压实及压溶作用

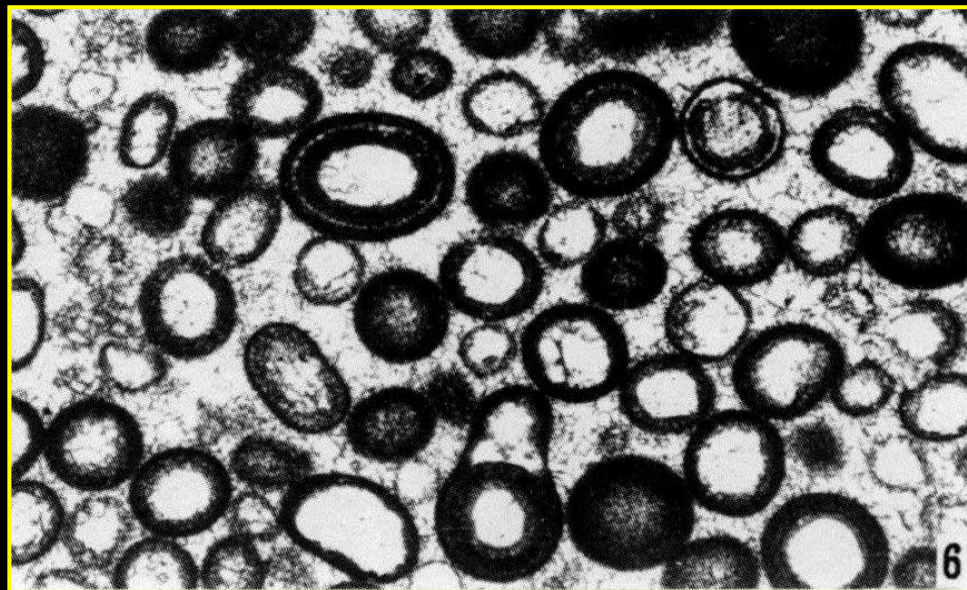


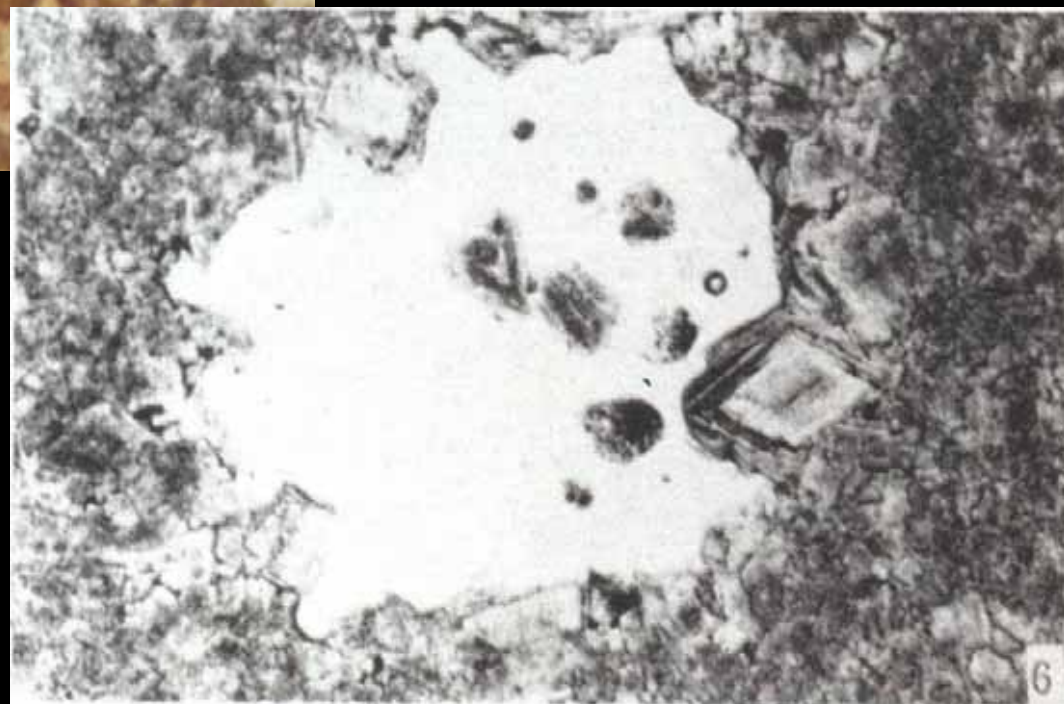
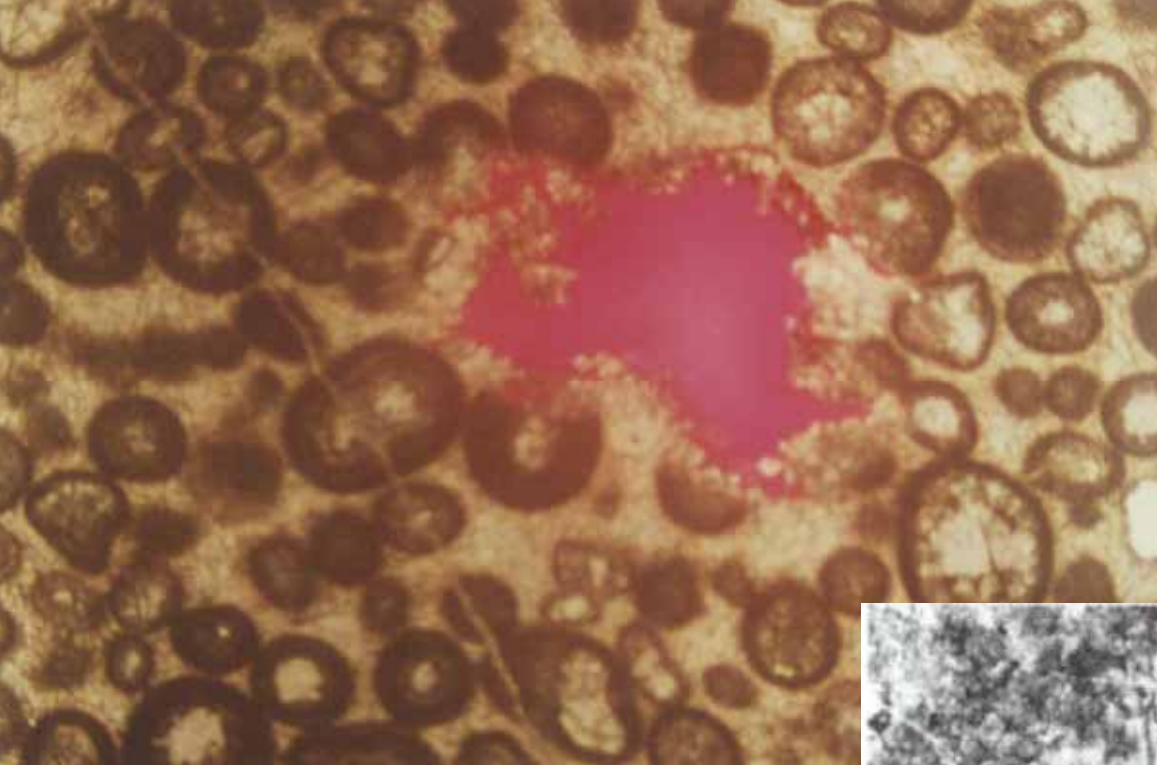
1. 溶解作用 (Solution)

定义：碳酸盐沉积物或碳酸盐岩中孔隙水的性质发生变化，引起碳酸盐矿物或其他成分溶解

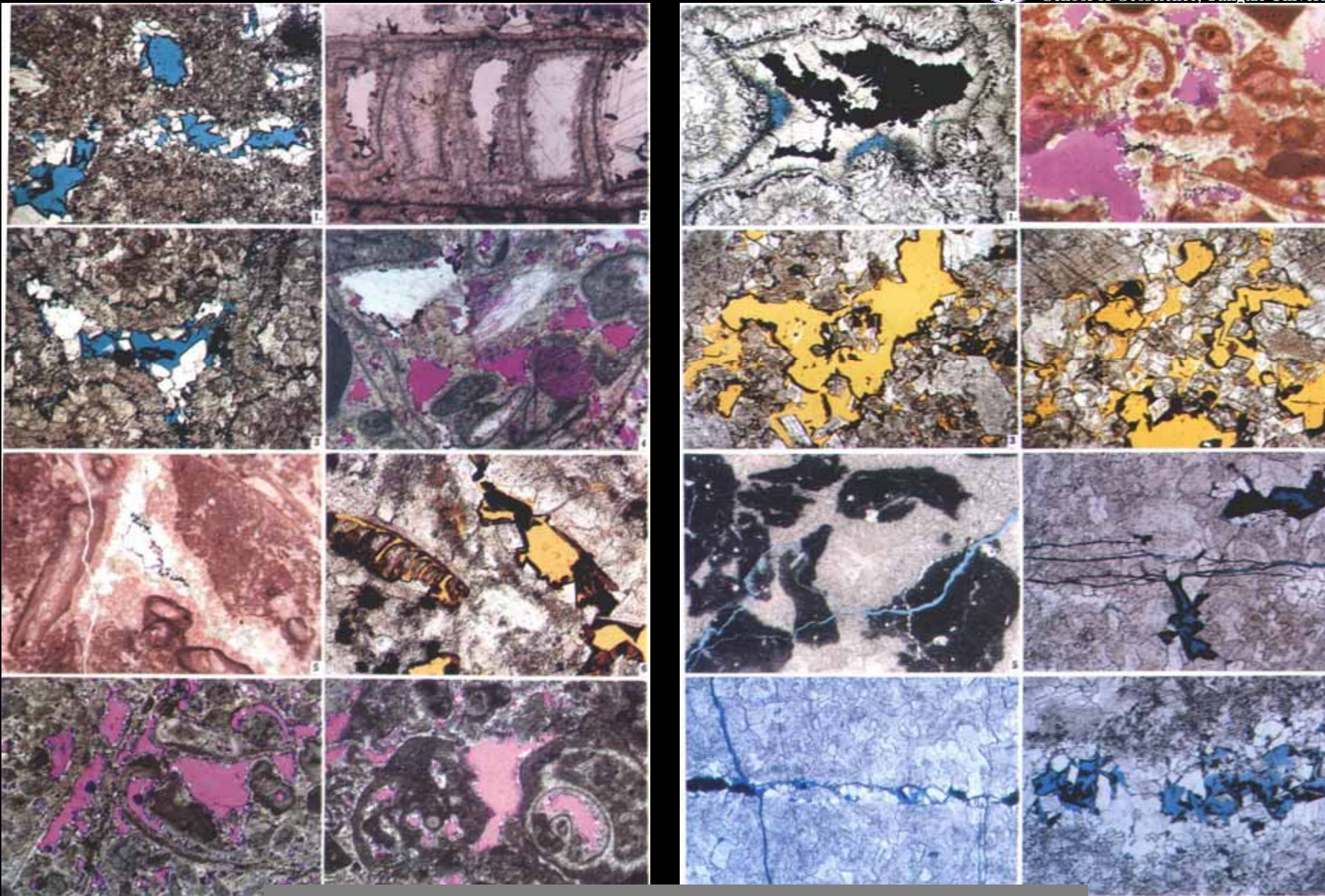
特征：

- 在各成岩阶段都可以发生
- 成岩作用早期的溶解具有选择性
- 成岩作用晚期的溶解不具有选择性





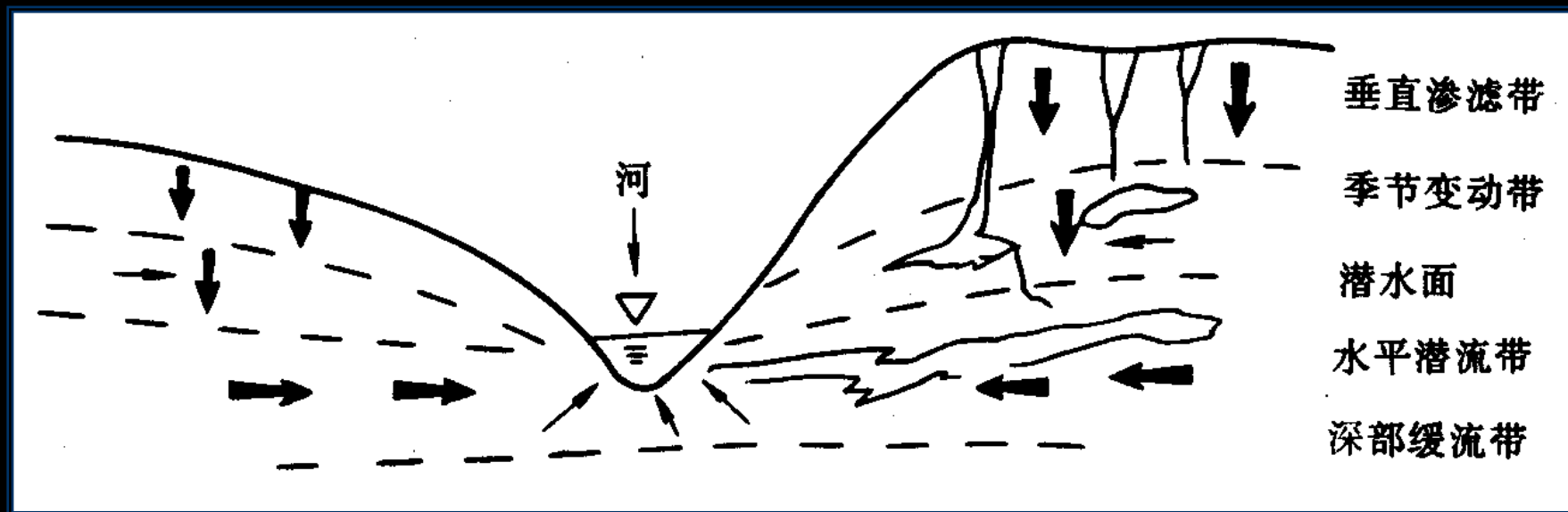
6. 细晶白云岩中的溶蚀洞。洞缘上白云石晶形很好，并嵌入洞中。T₁y—9，单偏光，×24。



选择性溶解？非选择性溶解？



溶解的原因之一：露环境中大气淡水的淋滤



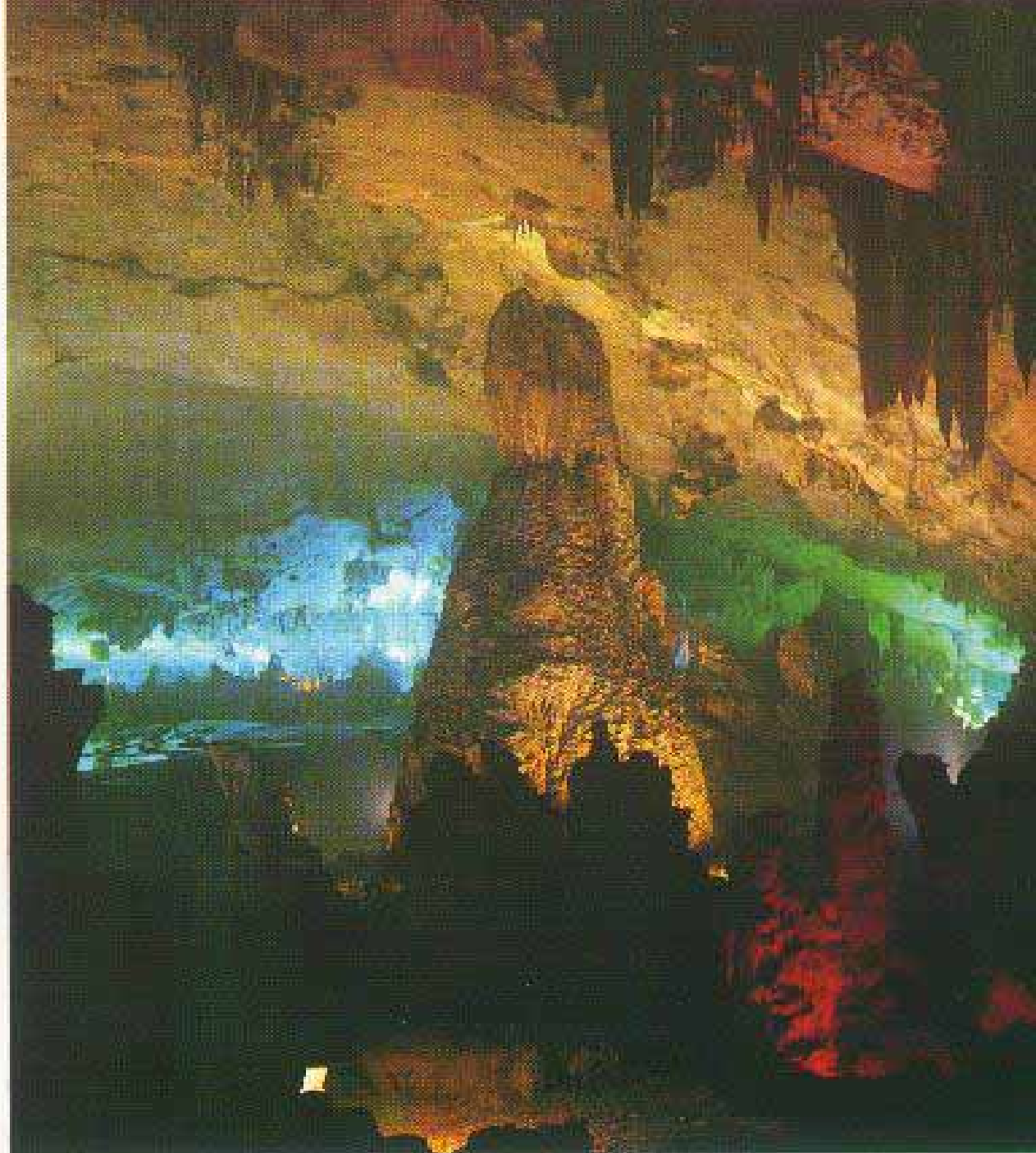




中扬子灯影组下段灰岩溶洞发育



中扬子河床全为灯影组灰岩，溶蚀







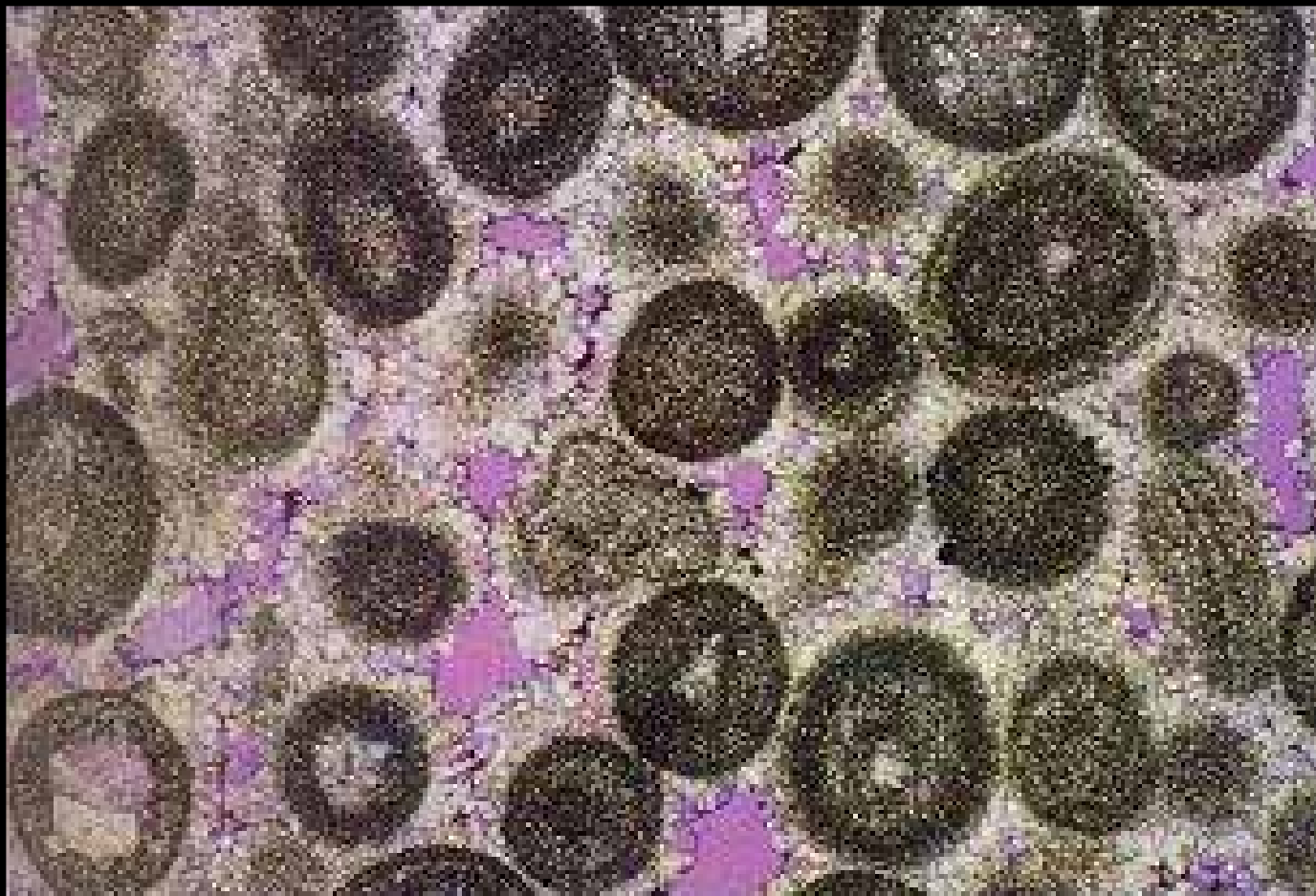
技科与设

美石
—— 杭州滨江区美石

2007/5/15 3:22pm



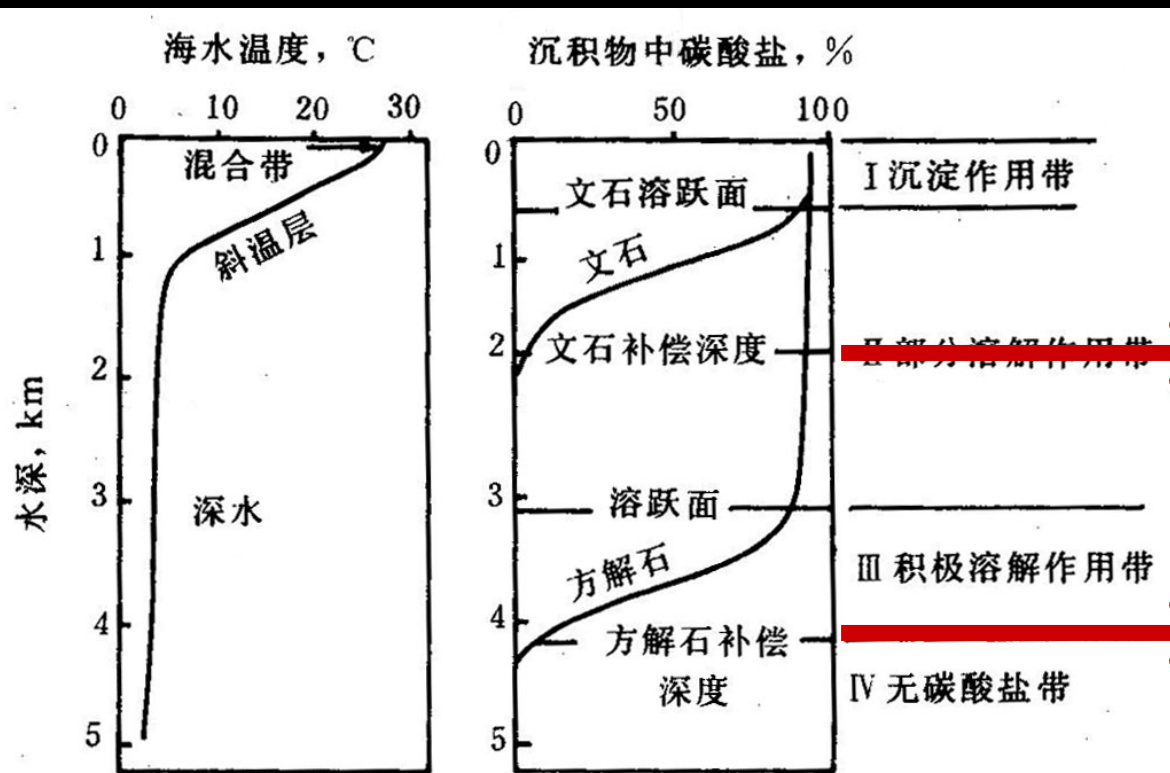
古风化壳型储层
泥晶灰岩 板状膏盐假晶和晶溶孔，基
质为泥晶方解石，正交偏光， $\times 25$ 。
奥陶系马家沟组，河北省晋22井1357.0
~1360.0m。



岩溶
亮晶鲕粒灰岩 粒间溶孔，炭质沥青
充填， $\Phi=3.27\%$ ， $K=9.87 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。正
交偏光（+试板）， $\times 25$ 。
三叠系飞仙关组，四川省邻水邻北2井
2458.2~2458.6m。



溶解的原因之一：深海中存在CaCO₃补偿深度



文石CCD面

方解石CCD面

现代热带海洋文石和方解石
溶解度与成岩作用带示意图
(据詹姆斯等, 1983)



溶解的原因之三：由于有机质的热演化和细菌的作用，在不同的成岩阶段，都可形成一定量的碳酸或有机酸，促使溶解作用的发生。





2. 碳酸盐矿物的转化作用和重结晶作用

(Inversion and Recrystallization of Carbonate Minerals)

(1) 矿物的转化作用 (Inversion of Minerals)

① 矿物的**同质多象转化**，即仅发生晶格和晶形的变化，并不发生化学成分的变化。

文石 (CaCO_3) \rightleftharpoons 低镁方解石 (CaCO_3)

② 有化学成分的变化，但无晶格和晶形的变化。

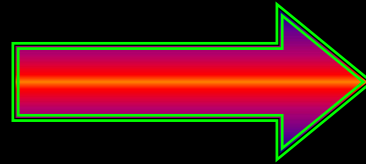
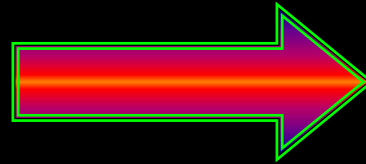
高镁方解石 \rightleftharpoons 低镁方解石



方解石化 (Calcitization)

文 石

高镁方解石



低镁方解石



(2) 重结晶作用 (Recrystallization)

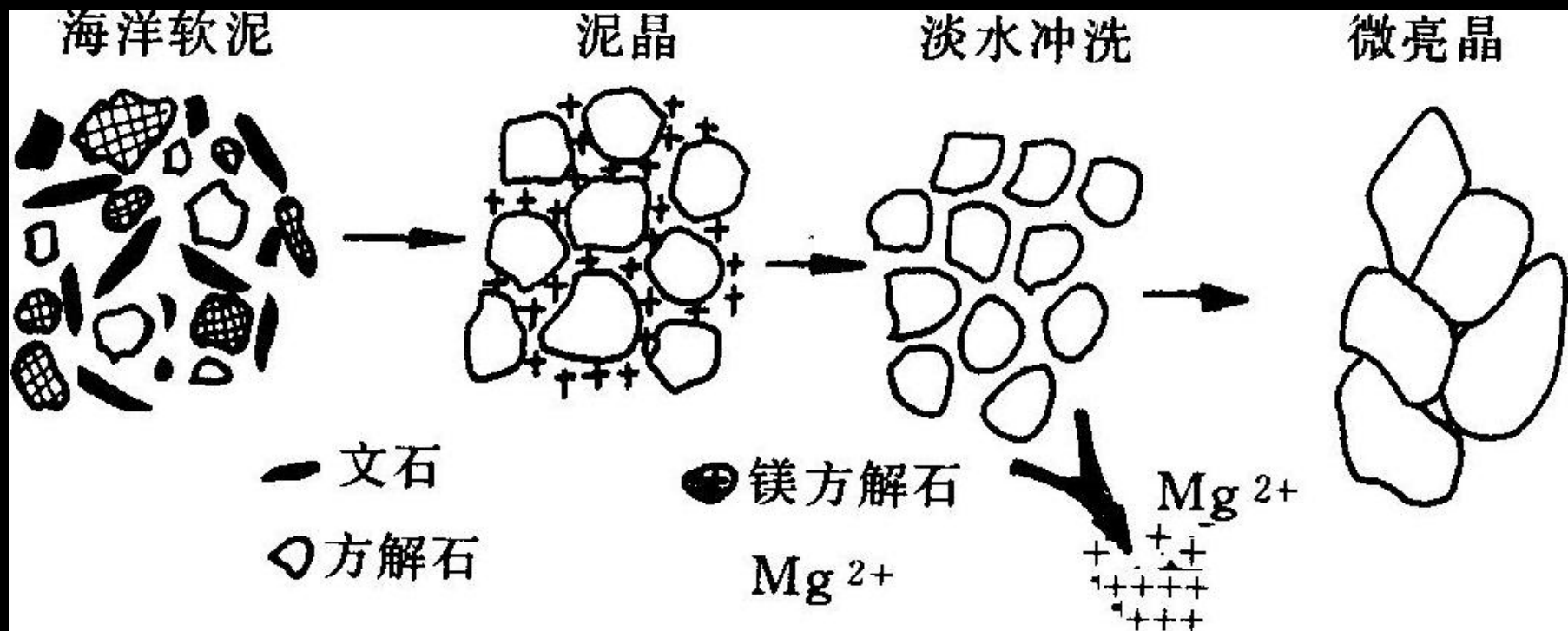
单纯的重结晶作用是指在成岩过程中，矿物的**晶体形状和大小发生变化**而主要矿物成分不改变的作用。

一般情况下趋向于出现**晶体长大**的现象，福克称之为“**进变新生变形**”作用。

特殊情况下也可能发生**晶体的缩小**，或称之为“**退变新生变形**”作用。

①微亮晶的形成作用

某些古代泥晶石灰岩，其泥晶的粒径一般为 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ ，福克将这种方解石晶体称作“**微亮晶**”。





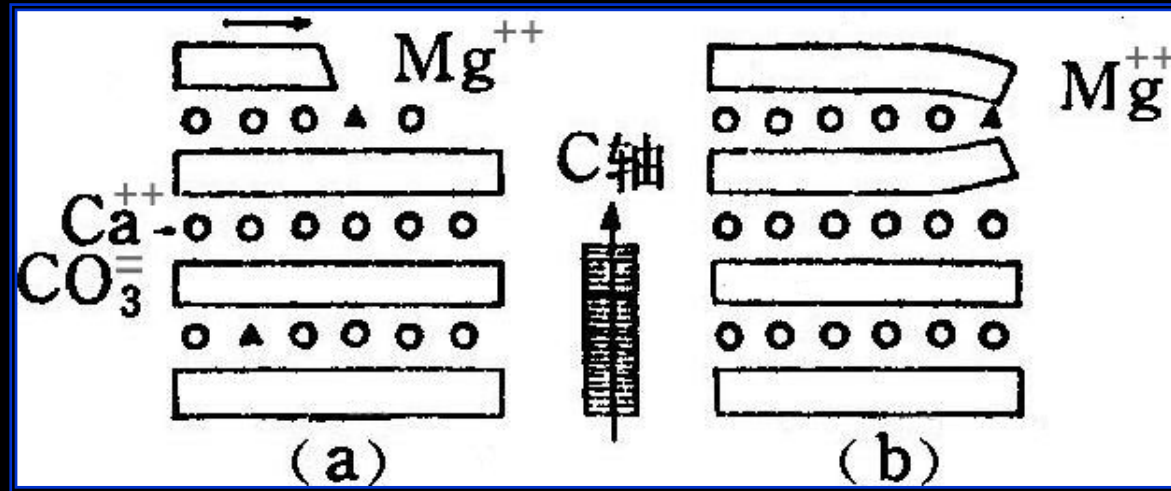
②微泥晶的形成作用

由粒径仅 $1\ \mu\text{m}$ 左右的泥晶方解石组成，不透明，反向光下略带白色，福克称其为“**微泥晶**”。

微泥晶的原始成分可能也是镁方解石，在成岩作用过程中，由于富镁孔隙水产生的**镁离子的毒害效应**，阻碍了晶体的重结晶长大，最终只能形成极小的微泥晶结构。



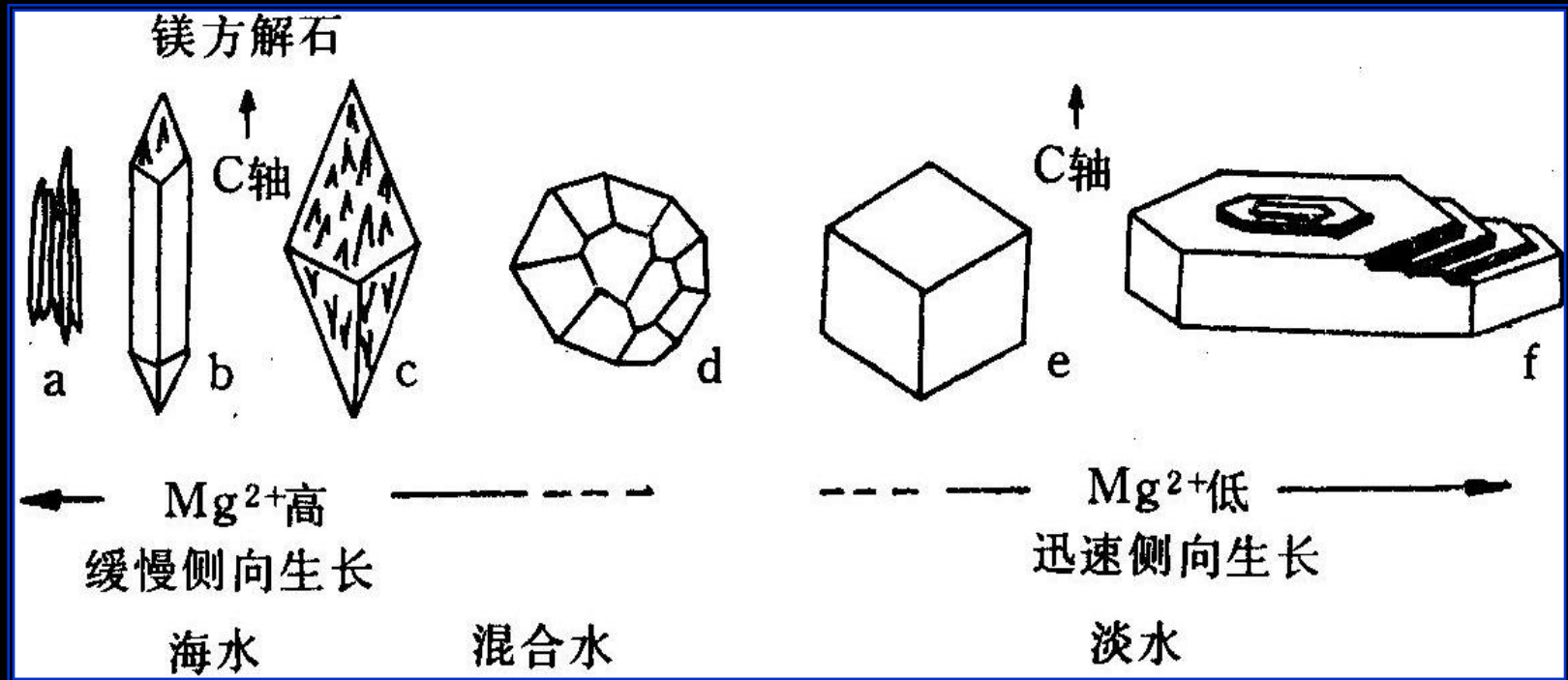
对于镁方解石的纤维状习性，福克提出**镁离子侧向“毒害”效应**的假说。



Mg^{2+} 进入正在生长的晶体顶端的 Ca^{2+} 层内，若占据（a）所示的位置，不影响晶体的生长；若占据晶体边缘位置（（b）所示），由于 Mg^{2+} 的半径较小，其上下的 CO_3^{2-} 层会把它包围起来，晶体构造发生变形，半径较大的 Ca^{2+} 不能进入这一 Ca^{2+} 层，从而限制了晶体侧向生长。



地表淡水含 Mg^{2+} 极少，毒害性极小，生成的碳酸钙矿物多为低镁方解石，常具菱面体晶形。



SO_4^{2-} 和 Fe^{2+} 对方解石的生长也具有选择性的毒害效应，但它们的含量微少。



3. 胶结作用 (Cementation)

胶结作用是一种孔隙水的物理化学和生物化学的沉淀作用，作用的结果是在粒间的孔隙中发生晶体生长，把碳酸盐颗粒或矿物粘结起来使之变成固结的岩石。





(1) 碳酸盐胶结物的矿物成分和结晶形态

现代海洋碳酸盐
胶结物的矿物成分

方解石 (低镁方解石)

文石

镁方解石 (高镁方解石)

白云石

结晶形态

泥晶 (所有碳酸盐矿物)

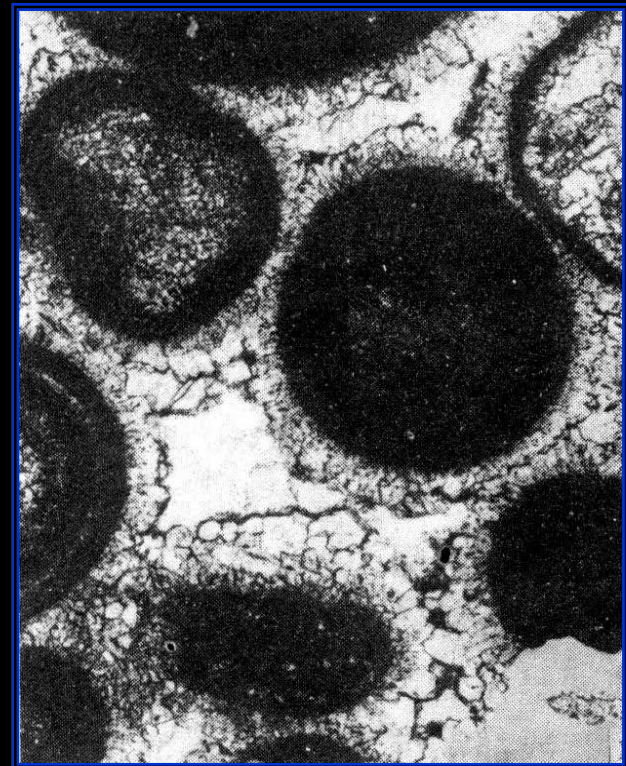
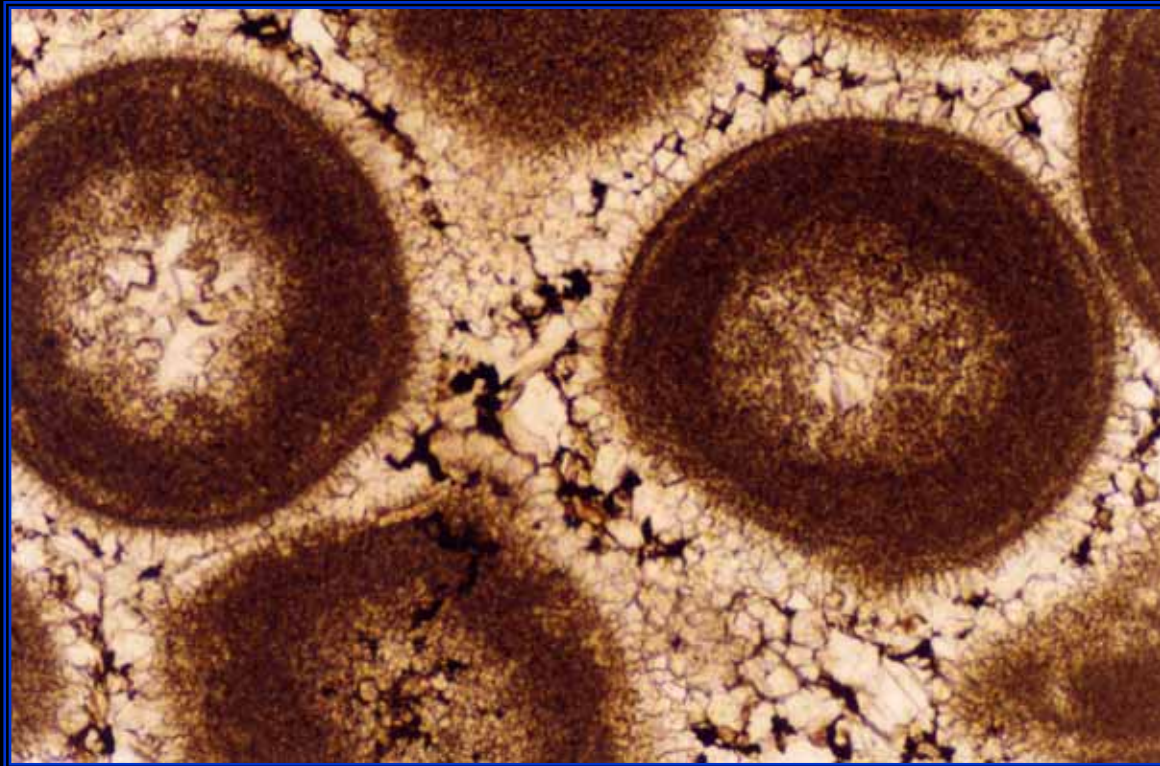
纤维晶 (文石, 镁方解石)

较粗的粒状晶体 (白云石, 方解石)



(2) 碳酸盐胶结物的世代

早期为薄边的纤维状、马牙状的无铁方解石，
后期多为粒状方解石，按含铁量递减呈多期。





4. 交代作用 (Replacement)

在碳酸盐沉积物或碳酸盐岩中，原来的矿物和组分为新矿物取代的作用叫交代作用。

碳酸盐岩中常见的交代作用有白云石化、去白云石化、硅化、石膏化和硬石膏化、去石膏化、菱铁矿化和黄铁矿化等。



(1) 去白云化作用

方解石交代白云石的作用叫去白云化作用，交代完全时可形成交代石灰岩。

去白云化主要是在近地表、含石膏的白云岩或有石膏夹层的白云岩地区发生的，其过程是在富含硫酸盐的地下水的的作用下进行的：



潮上带既可发生白云化也可发生去白云化。



一方面去白云化的副产物**泻利盐** (MgSO_4) **易溶**，故去白云化的岩石往往是**多孔而渗透性较差**的岩石，但另一方面，**去白云化形成的方解石比原来的白云石更易溶解**，又可使岩石的渗透性变好。

去白云化的同时伴有**去石膏化**作用。



(2) 石膏化和硬石膏化作用

石膏和硬石膏交代碳酸盐矿物或组分的现象叫石膏化和硬石膏化。

(3) 去石膏化作用

石膏和硬石膏晶体被碳酸盐矿物交代的象叫去石膏化。





在白云石被方解石交代的同时，石膏的溶模孔隙还可以为方解石充填，这一过程即为**去石膏化作用**。





5. 压实和压溶作用

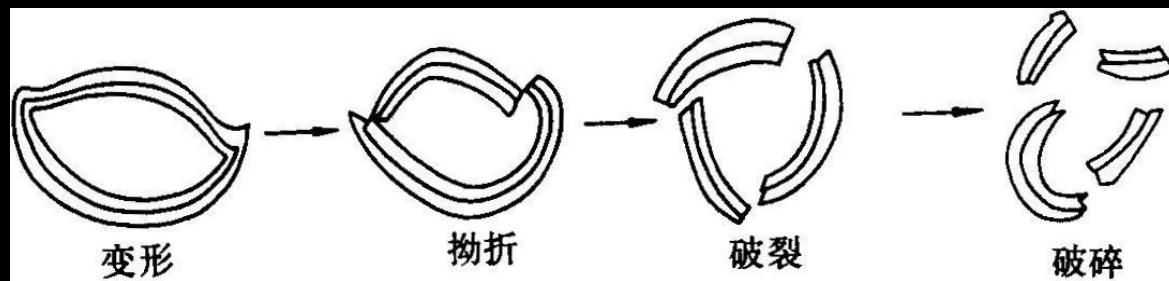
(Compaction and Pressure Dissolution)

碳酸盐沉积物在上覆层的负荷压力下，发生孔隙流体的减少、孔隙度降低、沉积物密度增加、体积减小、颗粒变形破裂、甚至引起颗粒和岩石局部溶解的作用。

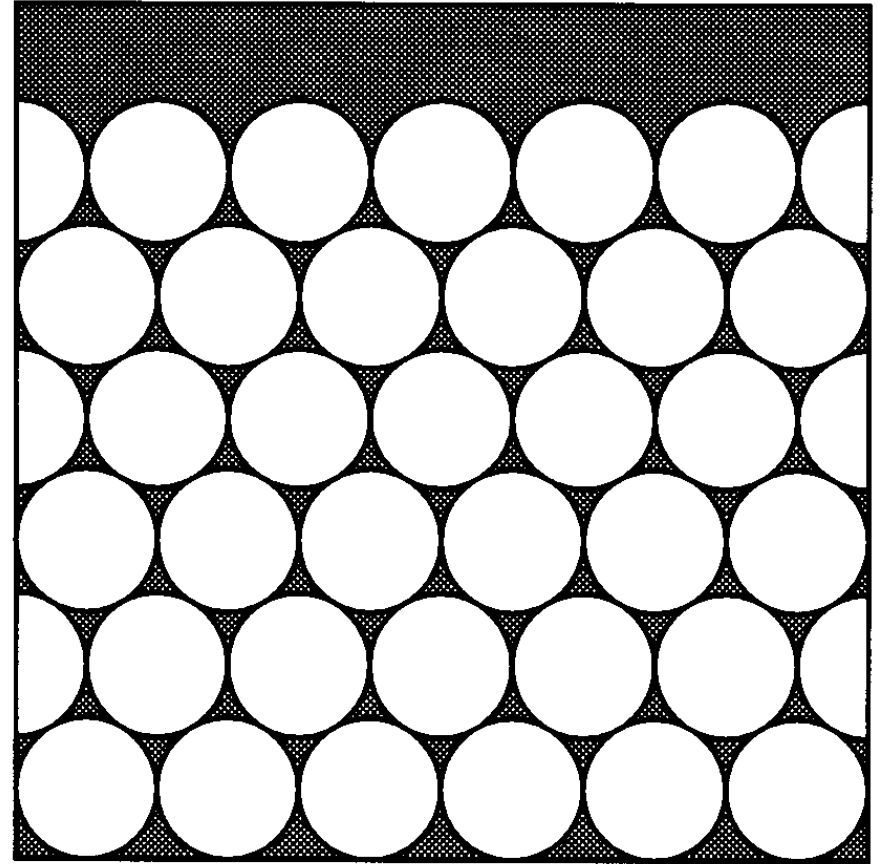
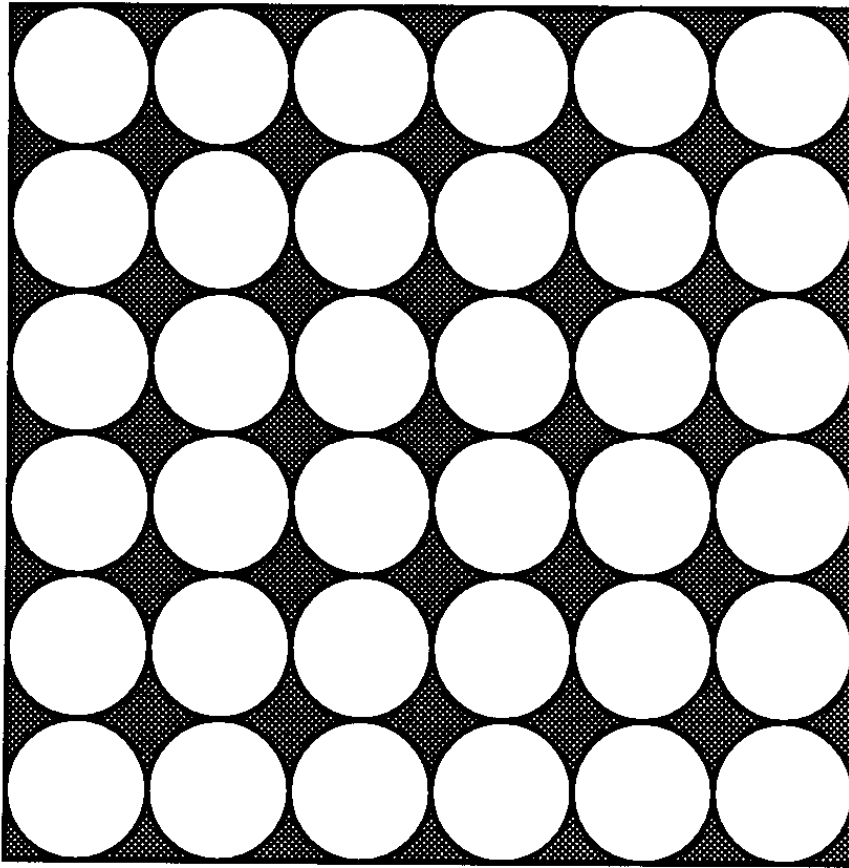


(1) 物理压实作用 (Compaction)

早期发育的胶结作用或白云石化作用，极大地妨碍碳酸盐沉积物压实作用的进行。



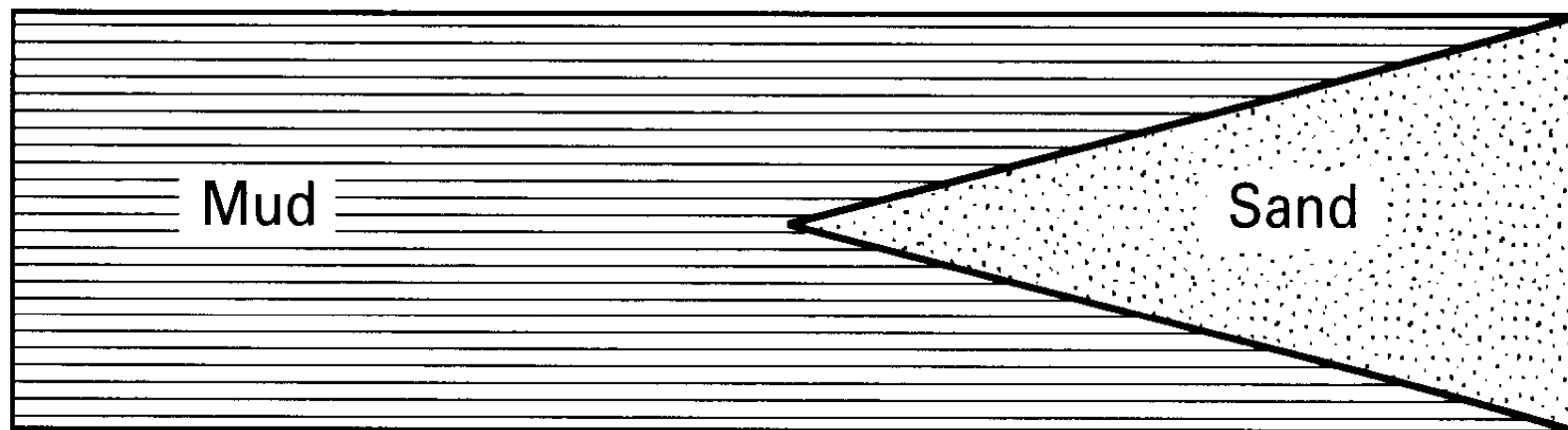
C-III-2, 压实作用, 鲕粒被压碎, 单偏光。



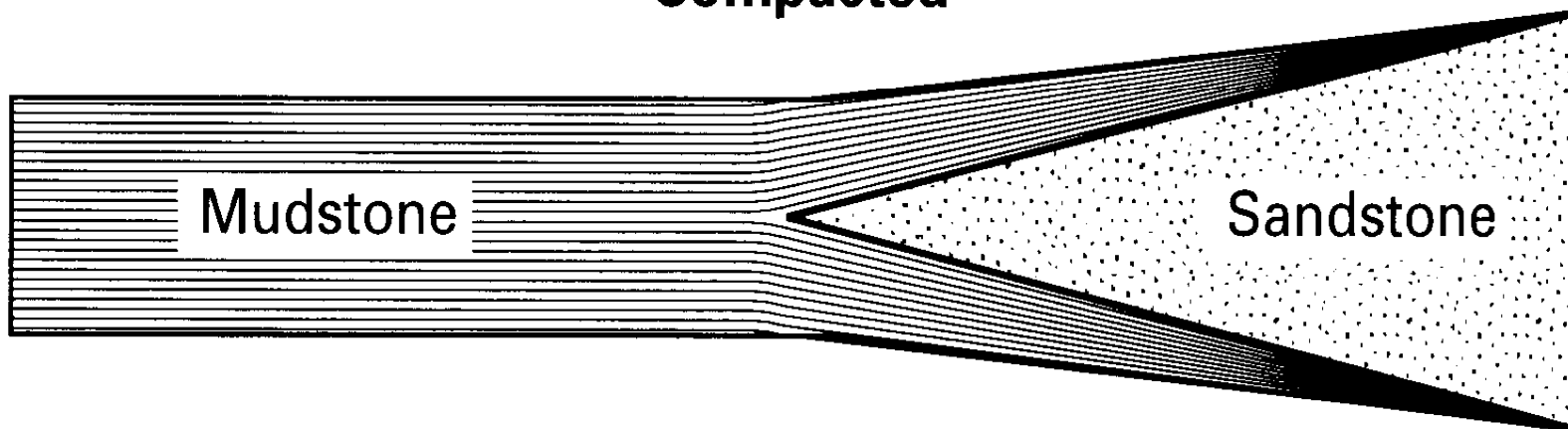
压实效应：水排出、最紧密堆积、孔隙减少、变致密



Uncompacted



Compacted





(2) 化学压实作用——压溶作用 (Pressure Dissolution)

压溶作用指在负荷或应力作用下，在颗粒、晶体和岩层之间的接触点上，受到最大应力和弹性应变，化学势能不断增加，使应变矿物的溶解度提高，导致接触处发生局部溶解。

主要的压溶构造：

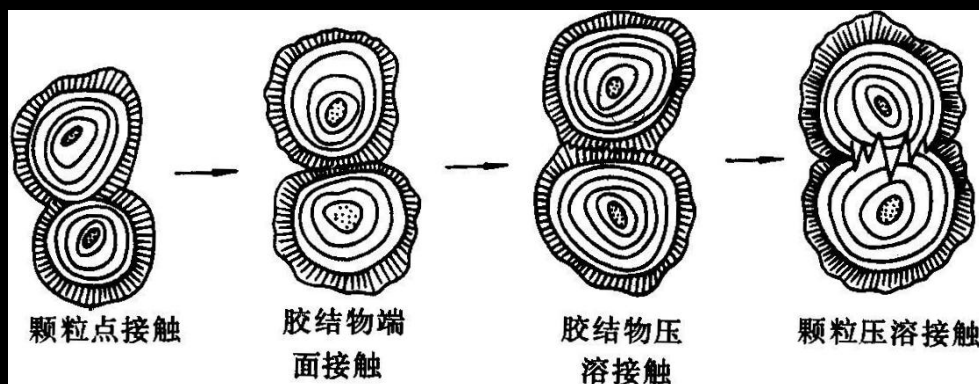
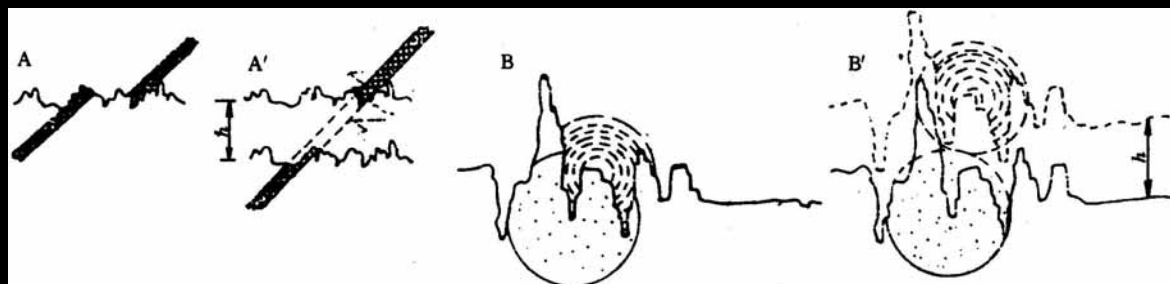
- (1) 缝合线
- (2) 颗粒间的微缝合线
- (3) 未缝合的缝，粘土缝、马尾丝脉、马尾丝缝、帚纹状纹层、波状纹层、假缝合构造



照片 V-11 藻類压溶作用

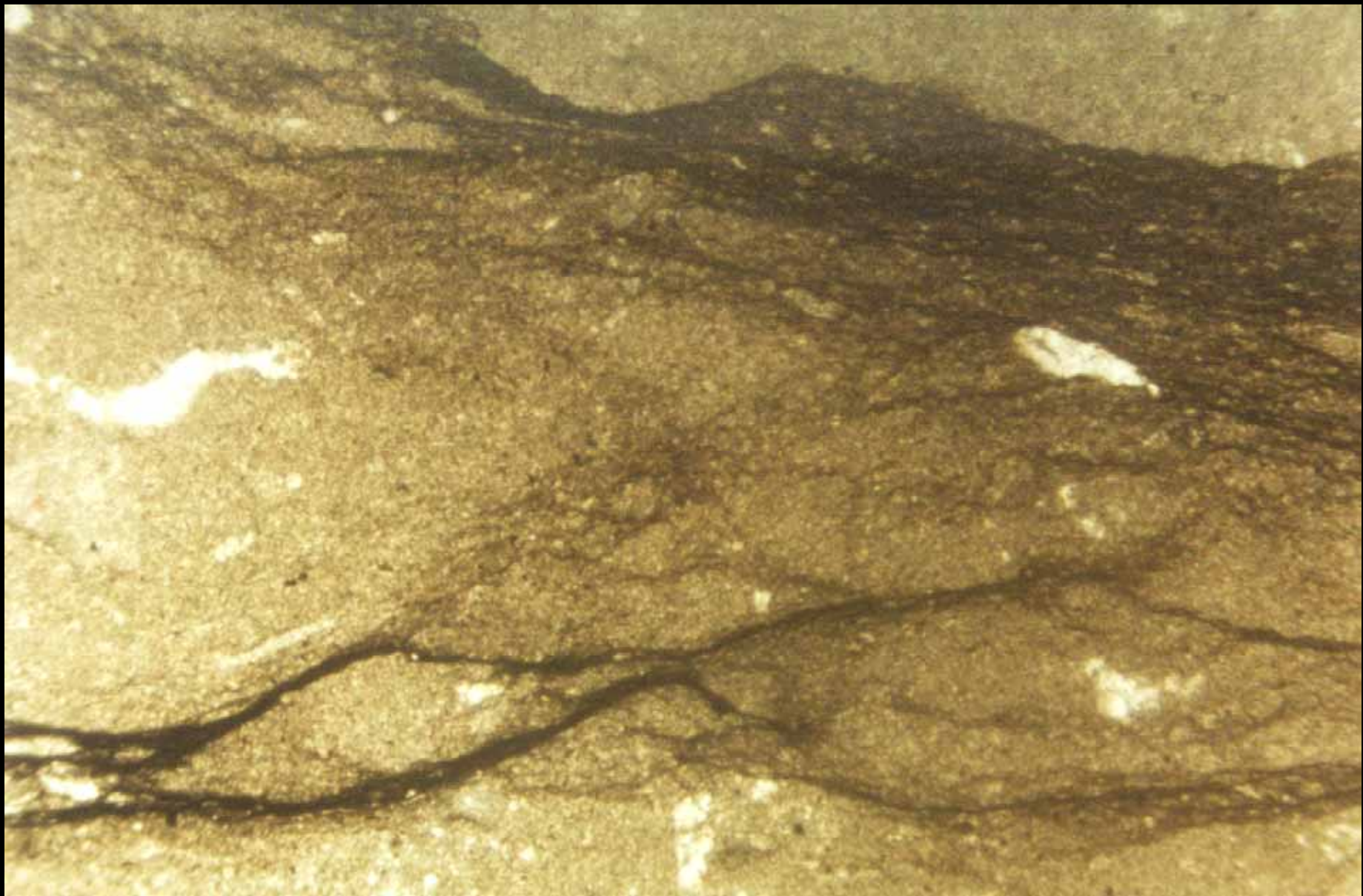
图为藻類遭受压溶作用，并形成缝合线。

蓬沱L 1T-15-B3 单偏光 照片长边长7.5 mm

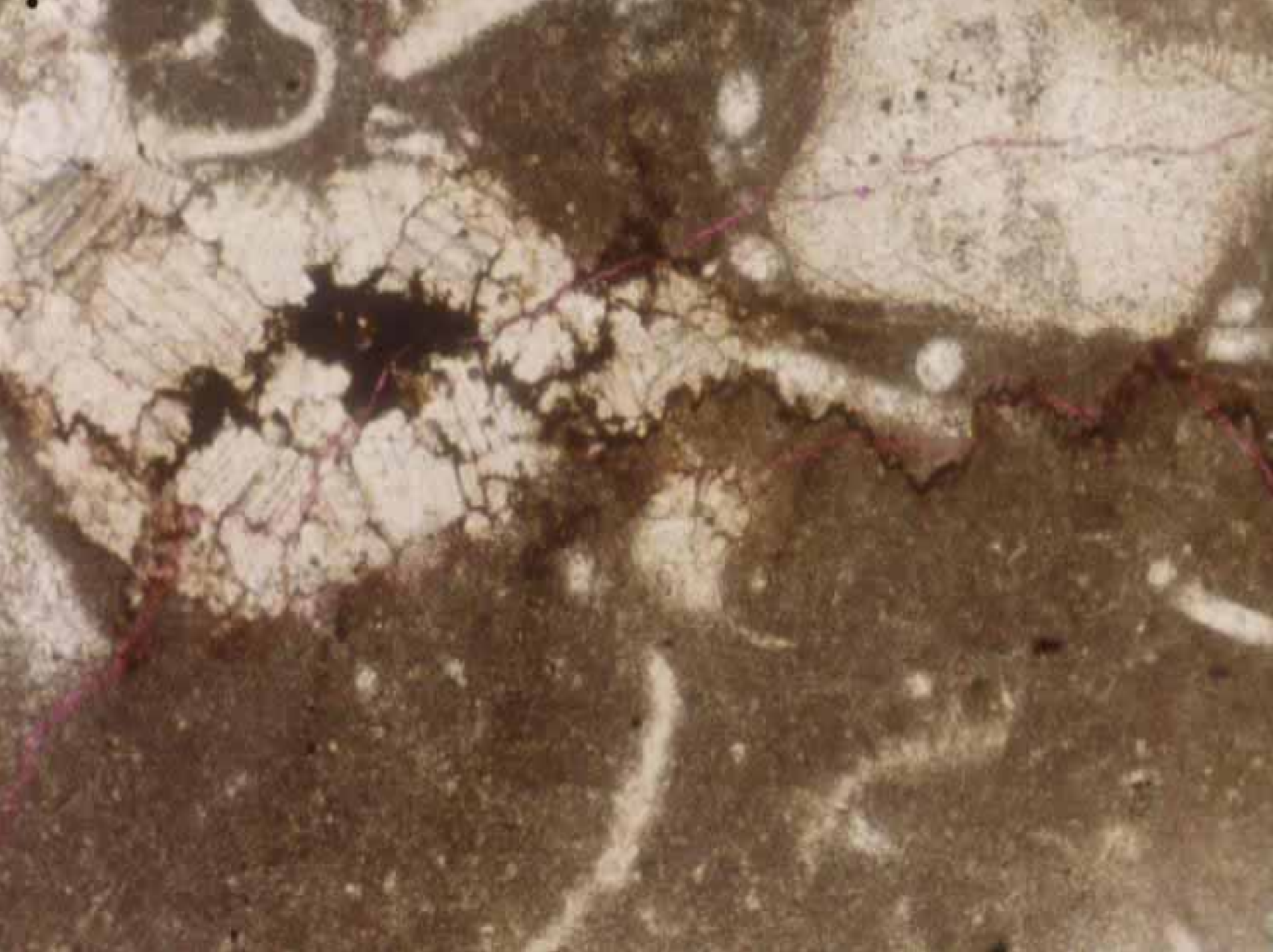






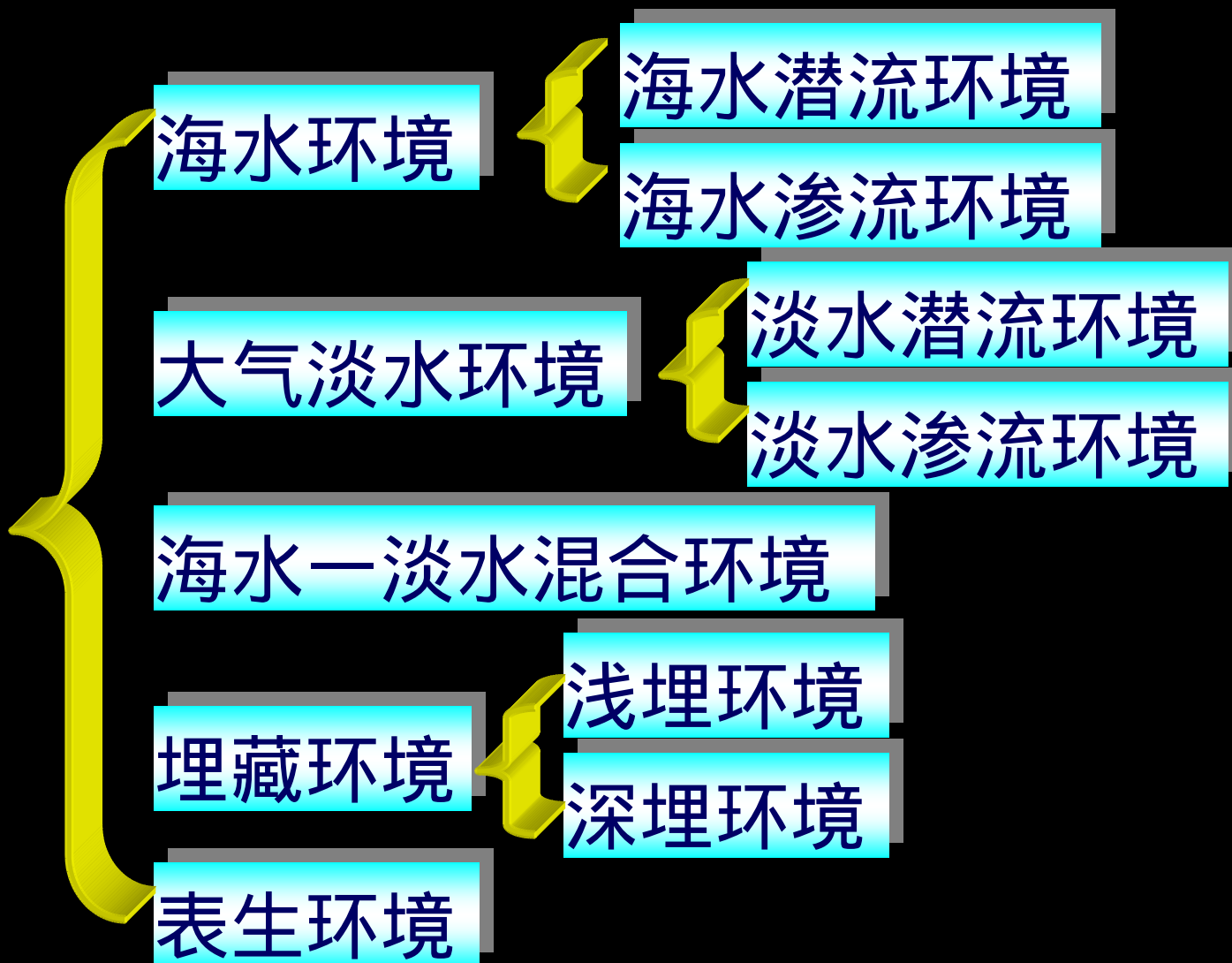


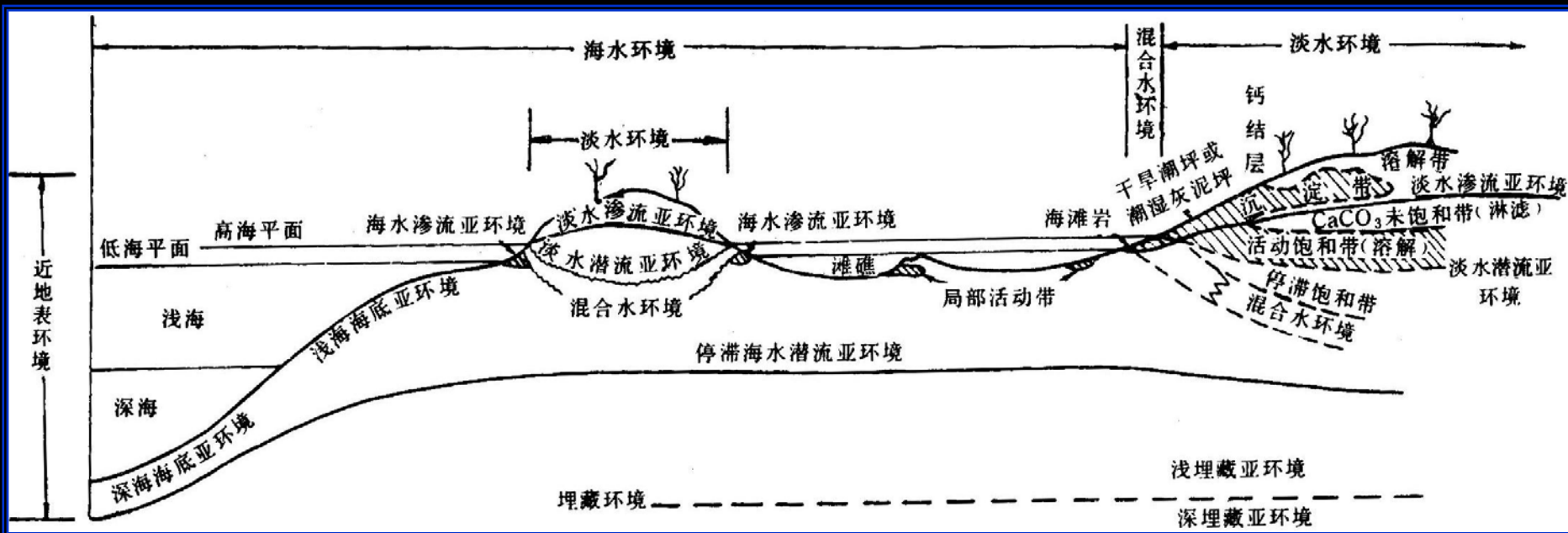
缝合线群





二、碳酸盐岩的成岩作用环境





每种沉积环境会发生不同类型的成岩作用



三、成岩序列和成岩阶段

任何碳酸盐岩成岩地质体都是多种成岩作用的综合产物。

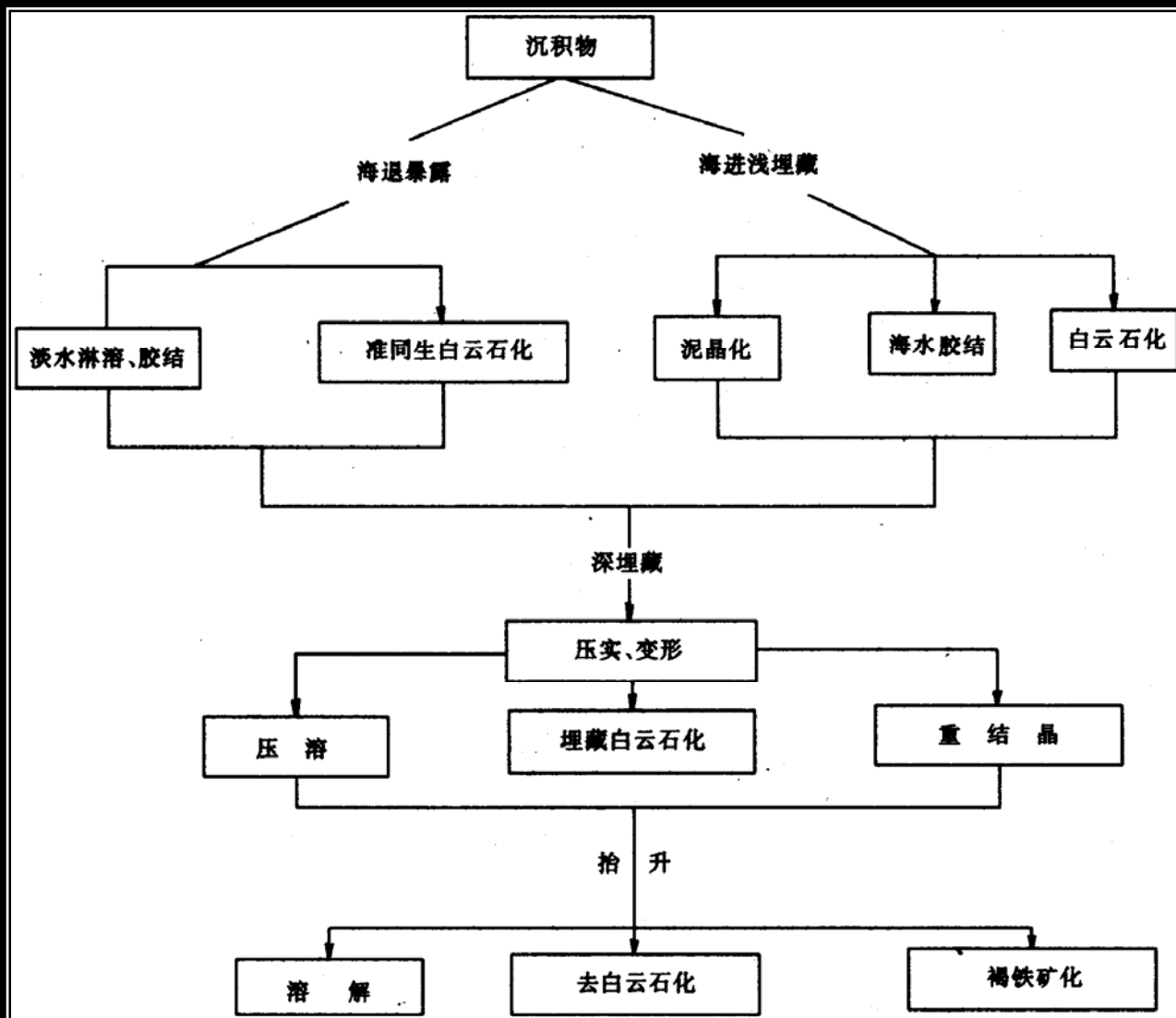
不同成岩作用随成岩环境的变迁而不断改变，同类成岩作用也可以形成于不同成岩阶段。

在不断演化的成岩环境控制下，每一碳酸盐岩地质体都有其特定的成岩序列和成岩阶段。



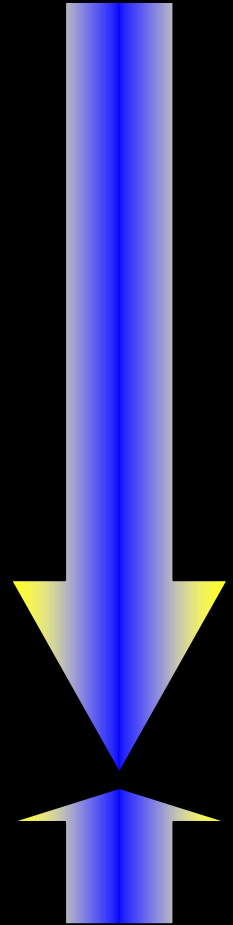
成岩序列是在同一成岩体中各类成岩作用发育和演化的次序。

不同的碳酸盐岩沉积体具有不同成岩序列





- 同生阶段——大气淡水环境、海底环境、混合水环境对应
- 早成岩阶段——浅埋藏环境
- 中成岩阶段——中、深埋藏环境
- 晚成岩阶段——深埋藏环境
- 表生阶段——表生环境



成岩阶段及其划分标志

碳酸盐岩成岩阶段划分及主要标志

成岩阶段	成岩环境	烃类演化	有机质成熟度	古温度 °C	质体或反射率 (R _o)%	藻类泥晶化	方解石胶结物								新生变形	白云石胶结物或交代白云石			交代作用						白云石晶间孔隙	次生空隙		暴露构造															
							晶体形态				组 构		成 分	含铁方解石		矿物转化	重结晶	压力双晶	泥粉晶	细—粗晶	畸形	透明晶	环 边	镶嵌		分散交代	白云石	含铁白云石	硬石膏化	石膏化	重晶石化	天青石化	萤石化	硅化	去白云石化	去石膏化	选 择	非选择	裂 缝	渗透粉砂及渗透豆	古土壤	干裂角砾	塌陷角砾
							颗粒硬化	泥晶、粉晶	球 粒	纤 状	柱状或马牙状	叶片状	粒 状																								粗亮晶	环 边					
同生成岩	海底—海底混合—大气水	未成烃	未成熟	古常温													蒸发渗透回流																										
早成岩	浅—中埋藏	生物气	未—半成熟	古常温 ~ 85	<0.35 ~ 0.5												埋藏—压实—调整																										
中成岩	中—深埋藏	原油—凝析油	成熟—高成熟	>85 ~ 175	>0.5 ~ 2.0																																						
晚成岩	深埋藏	干气	过成熟	>175 ~ 200	>2.0 ~ 4.0																																						
表生成岩	暴露及近地表	氧化降解	古常温或常温											淡水																													

注1: 因地壳运动及海平面的升降在各地不同, 在地史过程中, 有可能在早成岩至晚成岩的任何时期出现表生成岩阶段; 也可能不出现表生成岩阶段。各地区视具体情况确定。

注2: "-----"表示少量或可能出现的成岩标志。



本节要点：

- 成岩作用的主要类型（重点）