

第十四章 碳酸盐沉积物（岩） 的沉积后作用

第一节 沉积后作用的主要类型

第二节 沉积后作用的环境及特征

第三节 成岩序列和成岩阶段



概 述

定义：碳酸盐沉积物（岩）的沉积后作用是指在沉积作用阶段之后（到沉积岩的风化作用和变质作用之前），碳酸盐沉积物（岩）所发生的一系列（物理的、化学的、物理化学的和生物的）作用，以及（这些作用所引起的碳酸盐沉积物（岩）结构、构造、成分以及物理的和化学的性质的）变化。

概 述

碳酸盐岩沉积后作用与碎屑岩相比有较大差异，具有成岩早、压实弱、后期改造强烈、受环境控制明显的特点。具体如下：

- ①碳酸盐沉积物成岩过程快，有的甚至在地表就已经固结成岩；
- ②由于成岩快，在埋藏过程中受到的压实作用不如碎屑岩明显；
- ③埋藏过程中后期改造强烈，容易发生破裂作用和溶解作用；
- ④受环境控制明显，不同沉积环境形成的碳酸盐沉积物其成岩作用有很大差异。

第一节 沉积后作用的主要类型

碳酸盐沉积物沉积后作用类型多样，主要包括矿物的转化作用、胶结作用、溶解作用、交代作用、压实作用、以及重结晶作用等。

一、碳酸钙矿物的转化作用

碳酸钙矿物的转化作用包括以下2种情况：

①矿物的同质多象转化

仅仅是晶格和晶形变化，而化学成分不变，如：文石（针状、斜方晶系）→低镁方解石（菱面体、三方晶系）。

②矿物的异质同象转化

有离子的带入和带出，化学成分变化，晶格和晶形无变化，如高镁方解石→低镁方解石，有 Mg^{2+} 带出，但晶格和晶形并未发生变化。

第一节 沉积后作用的主要类型

③方解石化作用

现代浅海的碳酸钙沉积物是由文石、高镁方解石、低镁方解石组成，但在相应环境中形成的古代石灰岩却都由低镁方解石组成。这一现象说明，文石、高镁方解石在成岩过程中已经转变为低镁方解石，这一过程称为方解石化作用。

转化过程：

通过晶体间溶液薄膜进行，包括湿态的同质多象转变和湿态的重结晶作用；

文石、高镁方解石在极小范围内溶解并立即沉淀出方解石；

常温、常压下进行的湿态转变；

转化过程中有锶和镁的丢失。

第一节 沉积后作用的主要类型

二、胶结作用

定义：是指发生在粒间孔隙水中的物理化学和生物化学的沉淀作用，在粒间孔隙中发生晶体沉淀生长，把碳酸盐颗粒或矿物粘结起来使之变成固结岩石的作用。

1. 碳酸盐胶结物的矿物成分和结晶形态

(1) 胶结物的种类

完成胶结作用的途径是形成胶结物，组成碳酸盐岩胶结物的矿物很多，但最主要的是碳酸盐类矿物，包括：

方解石、文石、高镁方解石、白云石、铁方解石、铁白云石

非碳酸盐矿物

海绿石、石膏、硬石膏、盐类

第一节 沉积后作用的主要类型

(2) 胶结物的形态

泥晶

文石、高镁方解石

纤维晶

纤维状、针状

文石、高镁方解石

粒状晶

自形、半自形菱面体，

叶片状、他形

方解石、白云石



亮晶鲕粒灰岩，方解石胶结物纤维状、叶片状—细晶粒

第一节 沉积后作用的主要类型

(3) 碳酸盐胶结物结晶和发育形态的影响因素

① 溶液离子

地质环境中，控制 CaCO_3 结晶及其形态的离子主要有 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} ，其次是 Sr^{2+} 、 SO_4^{2-}

Mg/Ca高

文石、高镁方解石——针状、陡峭的菱面体

Mg/Ca低

低镁方解石——菱面体、规则或不规则粒状
晶体形态不同主要受镁离子毒害效应的影响

第一节 沉积后作用的主要类型

纤维状晶体的成因（镁离子侧向毒害效应）

离子参与晶格构造, 离子大小影响晶体构造

镁离子进入面网层内部

没有影响

镁离子进入面网层边缘

阻止晶体生长

晶格缺陷构造

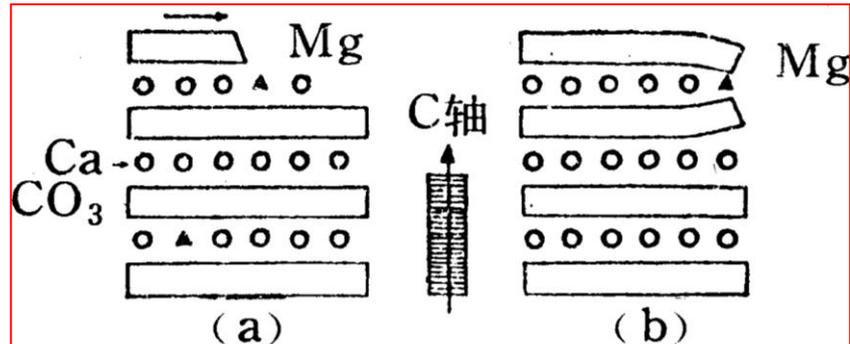


图 15-5 镁方解石成为平行于 C 轴的纤维状或陡斜菱面体示意图

(据福克, 1974)

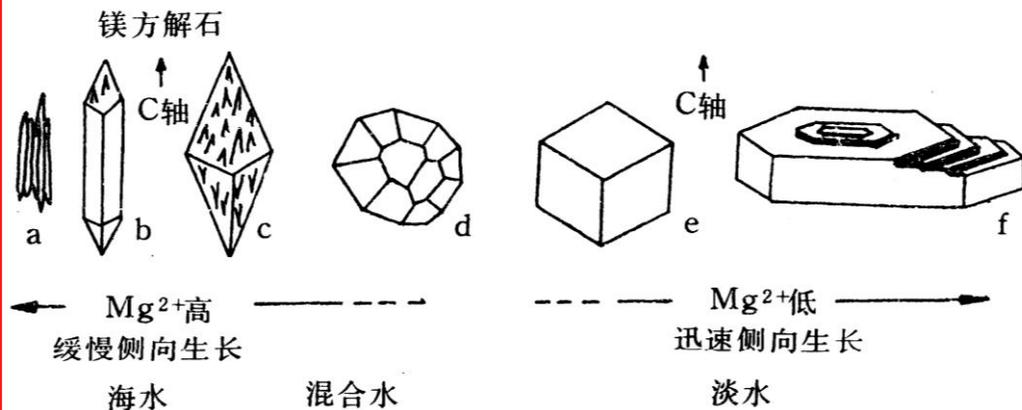


图 15-6 Mg/Ca 比值影响方解石晶体习性

(据福克, 1974)

■ 镁离子对白云石晶体生长不产生毒害效应

■ 碳酸根离子层被钙离子层和镁离子层隔开, 进入的镁离子都能被结合到适当的镁离子层中。

第一节 沉积后作用的主要类型

② 结晶速度

影响晶体的大小和形态

■ 结晶缓慢—有利于排除镁离子的毒害效应

- 晶体较大，为粒状晶

■ 结晶迅速

- 泥晶结构、纤维晶

第一节 沉积后作用的主要类型

③底质的影响

■底质：胶结物赖以沉淀的物质

■①同质成核（胶结物与底质矿物成分相同）

■A.干净的微粒多晶矿物底质

- 共轴生长、镶嵌结构—胶结物晶体的C轴或最长晶轴与底质原始表面垂直，呈纤维状、粒状—**世代结构**

■B.大的单晶底质

- 胶结物与单晶底质呈明显的共轴生长（呈现一大晶体，具统一消光性）

■②异质成核（胶结物与底质的成分不一致）

■如方解石胶结物在文石或石英颗粒表面生长等

- 晶粒状（微粒、隐粒）

■与同质成核相比，生长缓慢，体积较小

第一节 沉积后作用的主要类型

同质成核

干净的微粒多晶
矿物底质

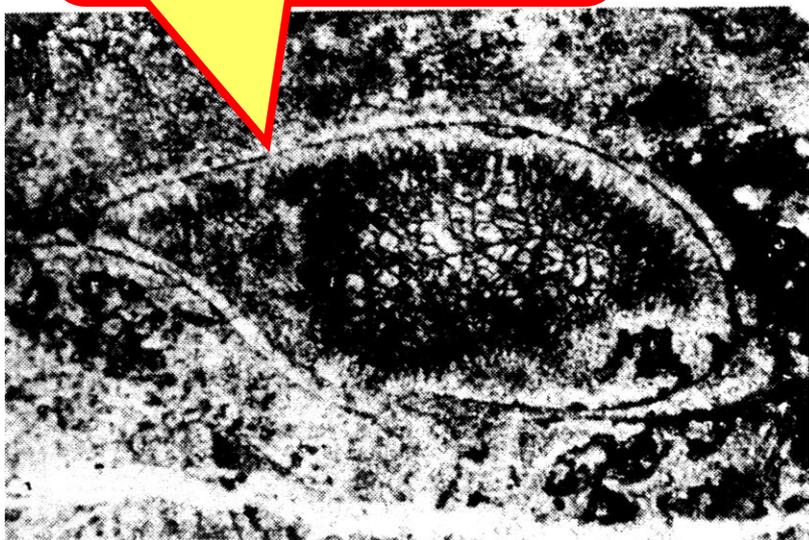


图 15-7 介形虫体腔被两个
世代方解石胶结物充填
一世代为纤维状（白色）

二世代为粒状铁方解石（黑色），染色片，
广西者保，上二叠统，单偏光×40

大的单晶底质

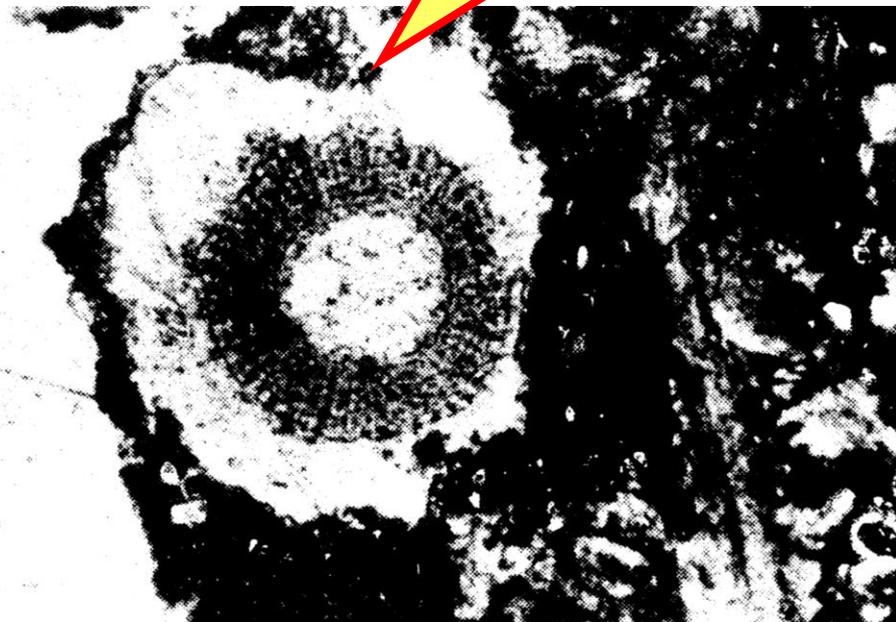


图 15-8 海百合茎板
的共轴环边（横切面）

贵州紫云，中三叠统，单偏光×35

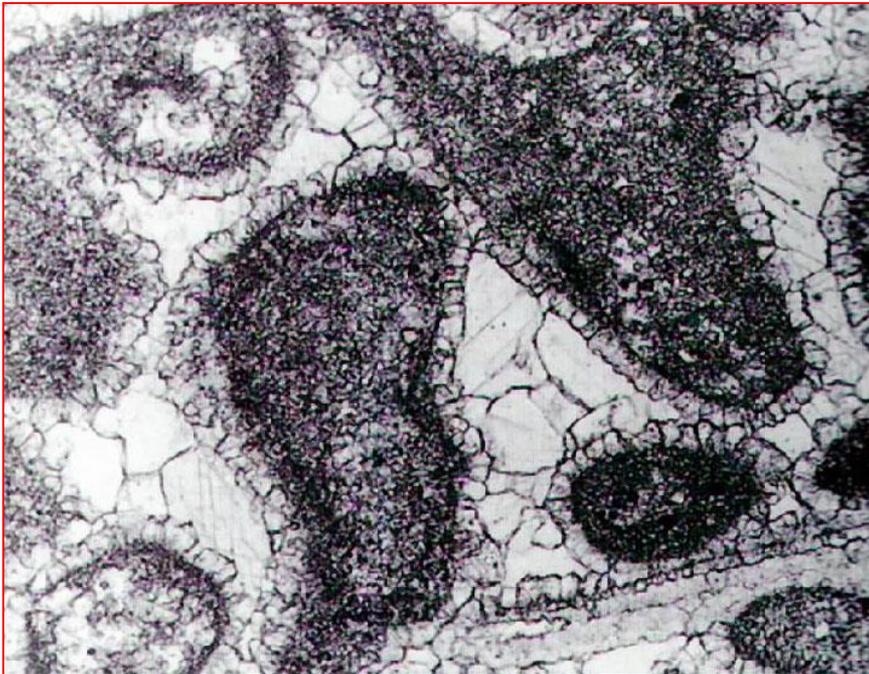
第一节 沉积后作用的主要类型

2、碳酸盐胶结物的世代

充填孔隙的胶结物往往由两个或两个以上世代组成，有时随着世代的不同，其组构也随之发生变化。

早期：纤维状、马牙状方解石（环带结构）

后期：粒状（含铁）方解石。



第一节 沉积后作用的主要类型

3. 亮晶方解石胶结物与新生变形方解石的区别

■ 类似于胶结物与灰泥重结晶的区别

- 晶体大小与分布

- 干净程度

- 晶面特征

- 生长方式

- 与颗粒之间的关系—亮晶不破坏颗粒；后者破坏颗粒

- 生物骨骼重结晶共轴环边一切割邻近基质或颗粒；

- 胶结物的共轴环边—与颗粒分界清楚

第一节 沉积后作用的主要类型

亮晶方解石胶结物与重结晶方解石(或新生变形方解石)区别

比较内容	亮晶胶结物	重结晶或新生变形
明亮程度	晶体较明亮，明亮程度较均一	晶体较污浊，明亮程度较差，不均一
世代现象、结构	常具世代现象，第一世代具栉壳状结构，第二世代一般具粒状镶嵌结构	决不具世代现象和栉壳状结构，常具不等粒的似花岗变晶结构
晶粒自形程度、接触关系	晶粒边缘接触界线大多平直，贴面结合	接触界面弯曲，不规则，三重结合
与颗粒之间的关系	与颗粒接触界线清楚，不破坏颗粒边缘	与颗粒接触界线不清楚，可破坏颗粒边缘或嵌入颗粒
分布特点	多见于颗粒碳酸盐岩的填隙物中，分布位置取决于粒间孔隙	与颗粒同时沉积下来，分布不均一

第一节 沉积后作用的主要类型

三、溶解作用

由于碳酸盐沉积物或碳酸盐岩中孔隙水的性质发生变化而引起碳酸盐矿物或其它成分发生溶解的作用。是介质溶液的化学平衡遭到了破坏。

1.发生条件

CaCO_3 不饱和，并为弱酸性

孔隙水具有流动性

2.发生在成岩作用的各个阶段

早成岩期（同生期）：溶解水体为大气淡水

成岩期：溶解水体为粒间水（弱酸性）

表生期：溶解水体为大气淡水（地表水）

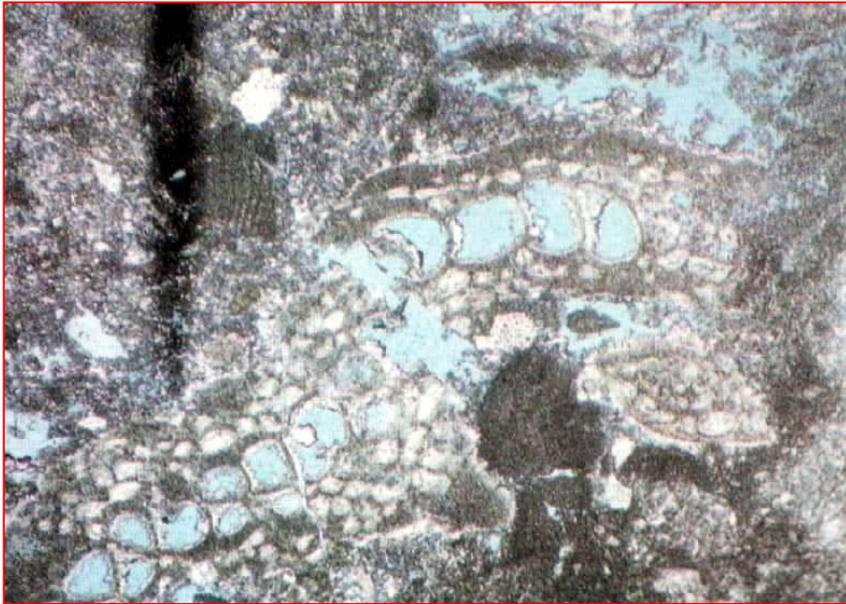
第一节 沉积后作用的主要类型

3. 成岩各阶段溶解作用的特点

■ 成岩早期

■ 选择性溶解

- 不稳定组分（文石、高镁方解石）先被溶解
- 常形成铸模孔



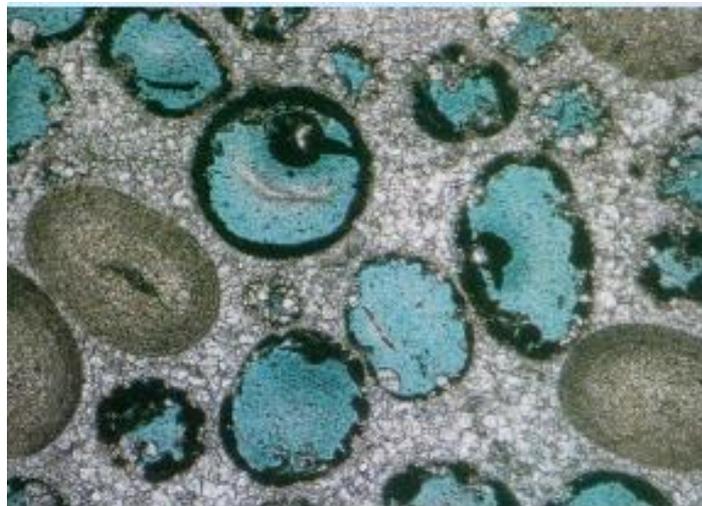
第一节 沉积后作用的主要类型

■ 3.成岩各阶段溶解作用的特点

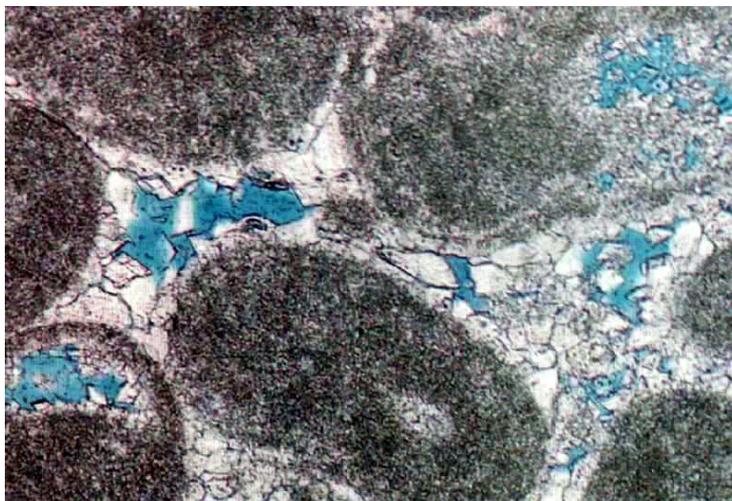
■ 成岩晚期

■ 非选择性溶解

■ 溶孔、溶缝、溶沟和溶洞



负鲕铸模孔)



亮晶鲕粒云岩，粒间、粒内溶孔

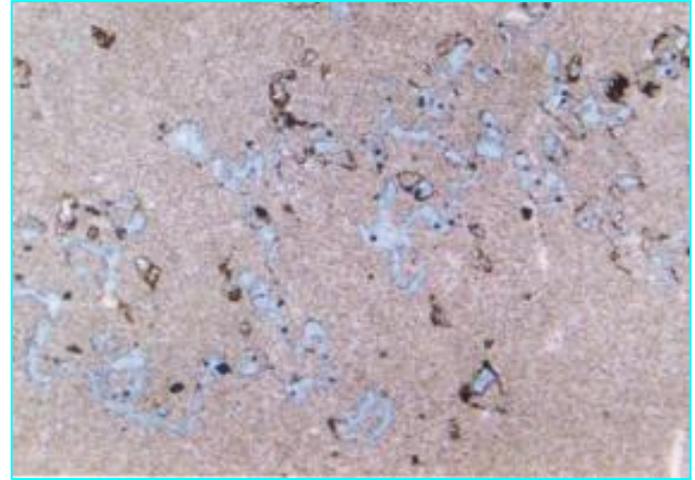


颗粒云岩（螺化石，粒间溶孔）

第一节 沉积后作用的主要类型



缝合线构造



沿缝合线溶孔



缝合线溶蚀扩大并充填沥青



缝合线溶蚀扩大孔

第一节 沉积后作用的主要类型

3.成岩各阶段溶解作用的特点

碳酸盐溶解模拟实验（黄思静等，1996）：

- 近地表温度和压力条件（40°C，常压）的开放体系：
 - 碳酸为溶解介质：方解石溶解速率大于白云石
- 70°C，20MPa的埋藏温压条件的封闭体系：
 - 有机酸为溶解介质：方解石和白云石溶解速率近于相等
- 随温度和压力再增加：
 - 方解石溶解速率小于白云石，
- 地质意义：不整合面之下石灰岩次生孔隙更发育；深埋藏地层中白云岩次生孔隙更发育。

第一节 沉积后作用的主要类型

四、交代作用

定义：在碳酸盐沉积物或碳酸盐岩中，原来的矿物和组分被新矿物取代的作用。包括：

白云化作用

去白云化作用（方解石化作用） ✓

石膏化和硬石膏化 ✓

去石膏化 ✓

硅化

菱铁矿化

黄铁矿化等

第一节 沉积后作用的主要类型

1.去白云化作用（方解石化作用）——方解石交代白云石

■（1）机理

■①富含硫酸盐的近地表条件下



白云石与石膏共生→方解石+泻利盐

■产出环境

- 含石膏的白云岩或有石膏夹层的白云岩地区

■②黄铁矿或其它硫化物氧化生成硫酸根

第一节 沉积后作用的主要类型

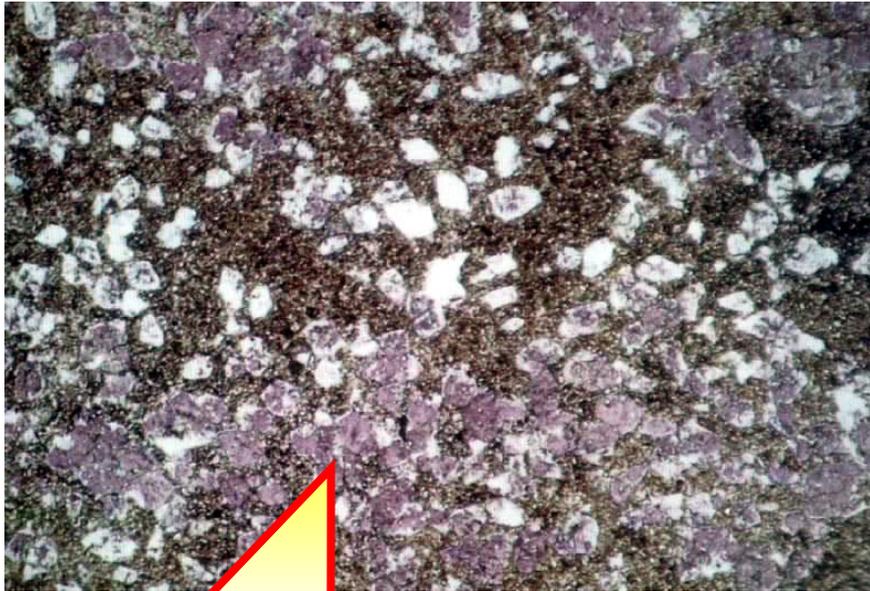
1. 去白云化作用

(2) 特征

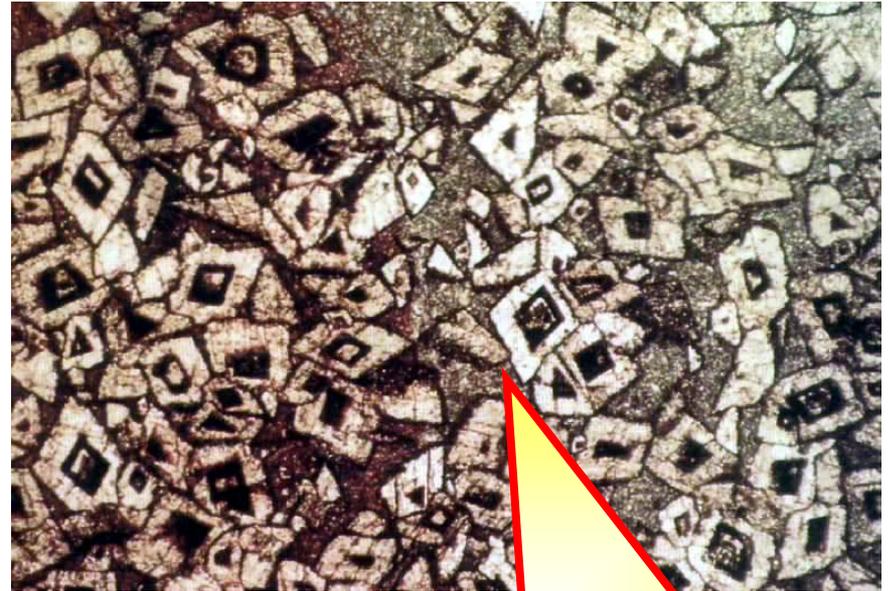
- ① 次生石灰岩，晶粒较粗
- ② 溶孔发育（泄利盐易溶被带走，形成多孔石灰岩）
- ③ 风化外貌
 - 介于石灰岩和白云岩之间
 - 微带红色
 - 保留不太发育的刀砍纹
- ④ 具有交代痕迹
 - 方解石呈白云石菱面体假象、白云石残余组构
- ⑤ 蒸发系列缺少膏盐层（被溶解）

第一节 沉积后作用的主要类型

去白云化



方解石交代白云石，晶溶孔，
混合染色液



中晶云岩，白云石环带状，
内部暗色环边为方解石，晶
间为泥晶方解石充填

第一节 沉积后作用的主要类型

2.石膏化和硬石膏化

- 石膏、硬石膏交代碳酸盐矿物或组分的现象
 - 与含硫酸盐的孔隙水活动有关
 - 石膏脱水变为硬石膏

3.去石膏化作用

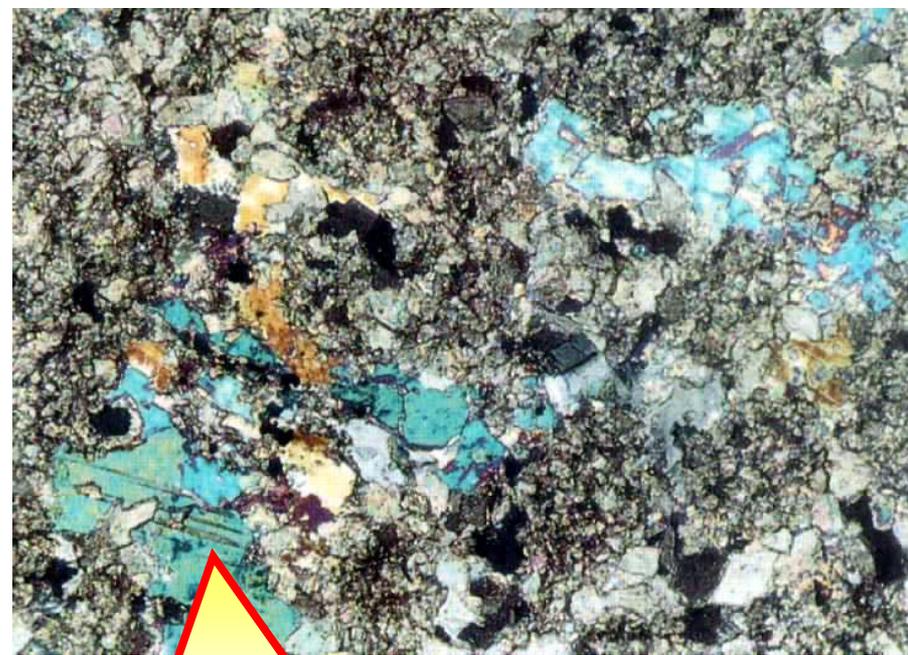
- 石膏、硬石膏晶体被碳酸盐矿物交代的作用
 - 与地表淡水和细菌的作用有关
 - $6\text{CaSO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \rightarrow 6\text{CaCO}_3 + 4\text{H}_2\text{S} + 11\text{O}_2 + 2\text{S}$
 - 石膏与酸性介质作用→方解石

第一节 沉积后作用的主要类型

石膏化



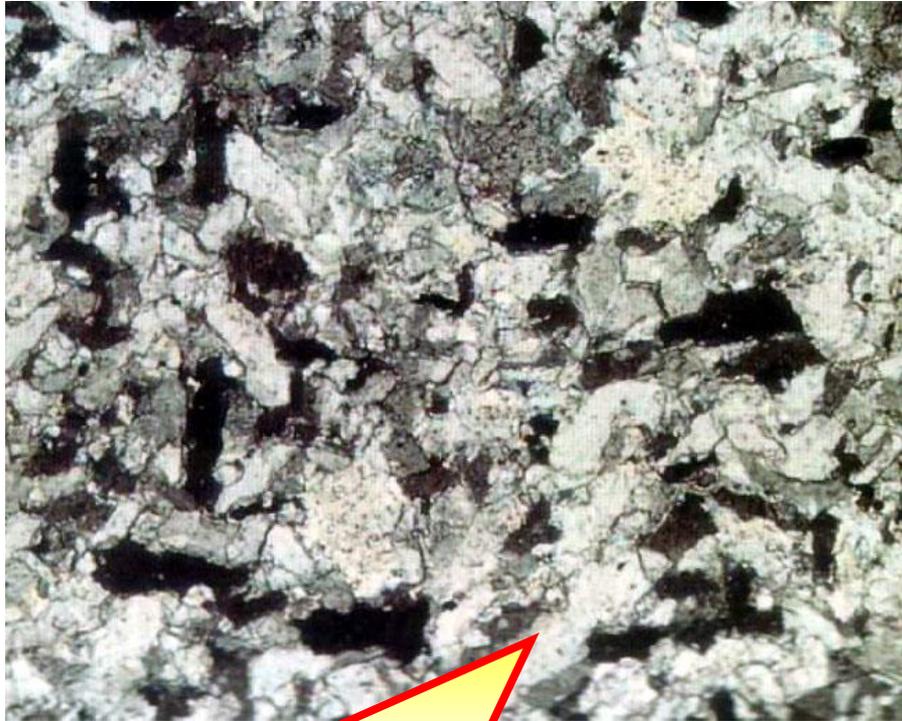
亮晶砂屑膏质云岩，板状、放射状硬石膏，孔隙全充填



亮晶砂屑含膏云岩，残余砂屑，白云石与硬石膏胶结，无孔隙

第一节 沉积后作用的主要类型

去膏化



白云岩，刀刃状白云石为去膏化产物，晶粒大小不等



亮晶异形粒云岩，石膏假晶内有异形粒残余，染色

第一节 沉积后作用的主要类型

五、压实作用和压溶作用

1. 压实作用

- 孔隙流体减少
- 孔隙度降低
- 沉积物密度增大
- 颗粒定向、变形、破裂

颗粒碳酸盐岩中常见的压实现象有：（1）颗粒点接触频率高；（2）颗粒定向和变形；（3）颗粒间线状接触或曲面接触；（4）颗粒压平；（5）颗粒断裂或破裂；（6）颗粒错断或分离；（7）颗粒表皮撕裂；（8）颗粒表部揉皱；（9）颗粒内部构造形变；（10）颗粒在应力作用下发生粉碎性碎裂；（11）有机质破碎变形为不规则细脉。

第一节 沉积后作用的主要类型



图 15-14 介壳石灰岩

介壳呈定向排列，已被压平或压折，呈线状接触，具套叠构造。四川盐亭八角场，中侏罗统，单偏光×20

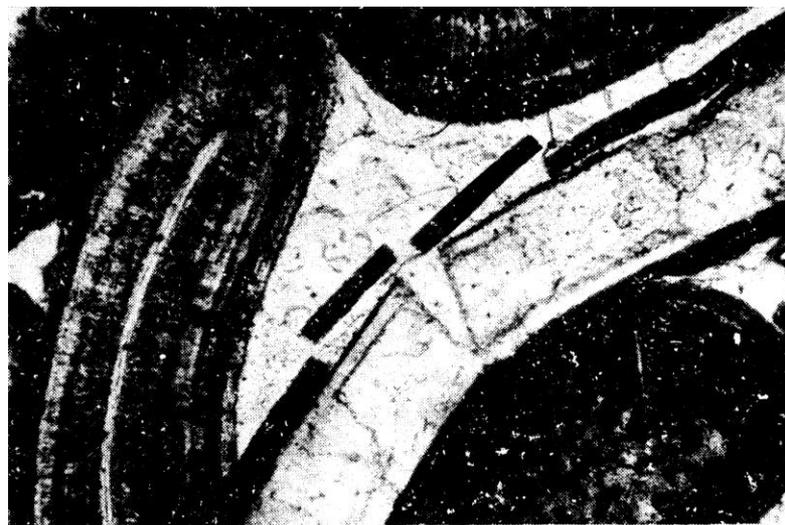


图 15-16 双壳类外壳压折破裂

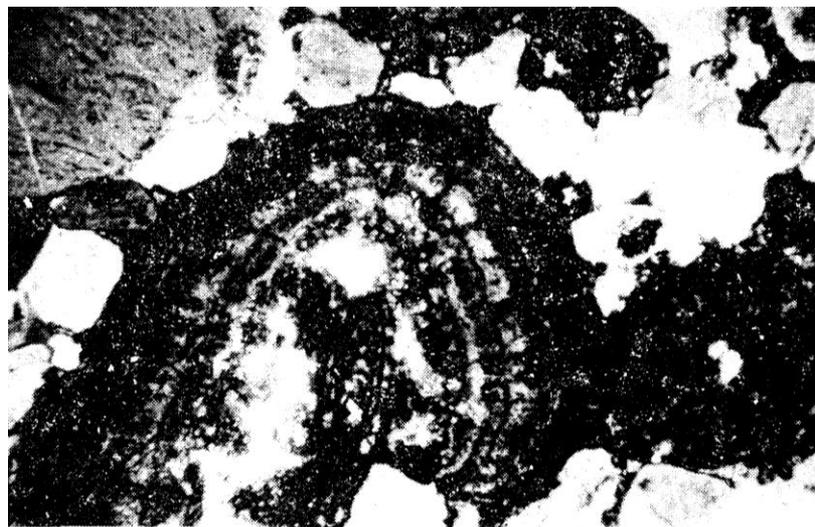


图 15-17 碎屑石英嵌入，使藻鲕外包壳发生揉皱

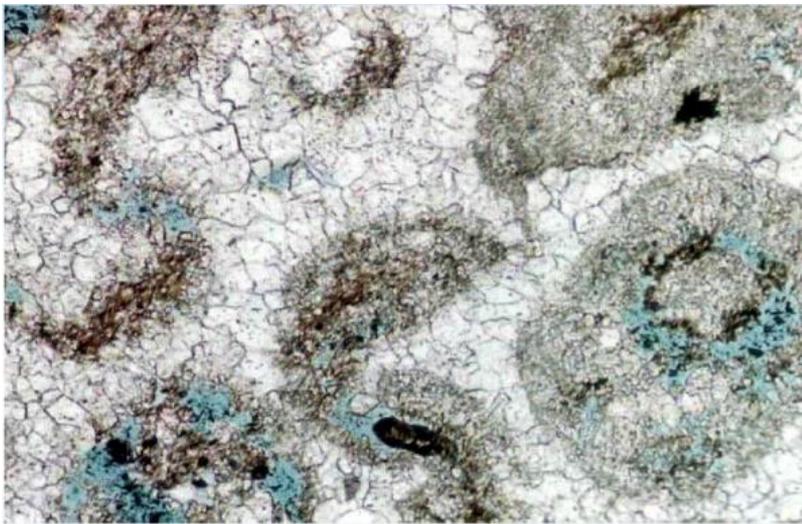
四川旺苍双河，寒武系，单偏光×20

第一节 沉积后作用的主要类型

2、压溶作用

碳酸盐岩在负荷或应力作用下，在颗粒、晶体或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，导致在接触处发生局部溶解的作用。

- 缝合线
- 颗粒间缝合接触



亮晶鲕粒云岩，压溶作用，鲕粒变形，鲕粒内容孔胶结物为白云石



压实压溶，泥晶灰岩缝合线内含油

第一节 沉积后作用的主要类型

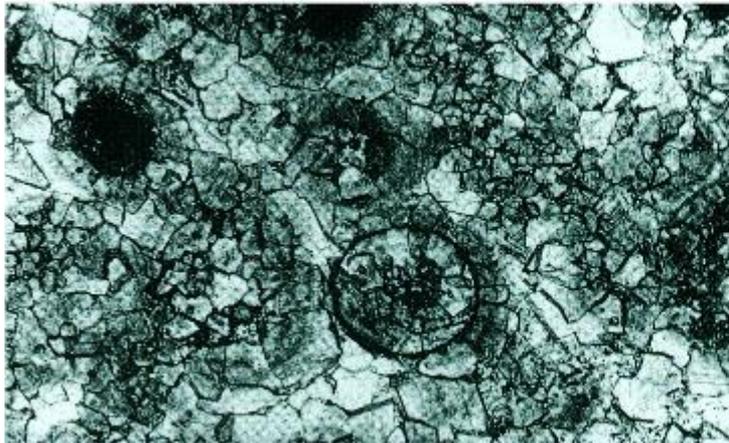
六、重结晶作用

重结晶作用是指在成岩作用过程中，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。

简单重结晶:矿物晶体大小变化，成分不变；

应力重结晶：在应力作用下矿物晶格发生变形。

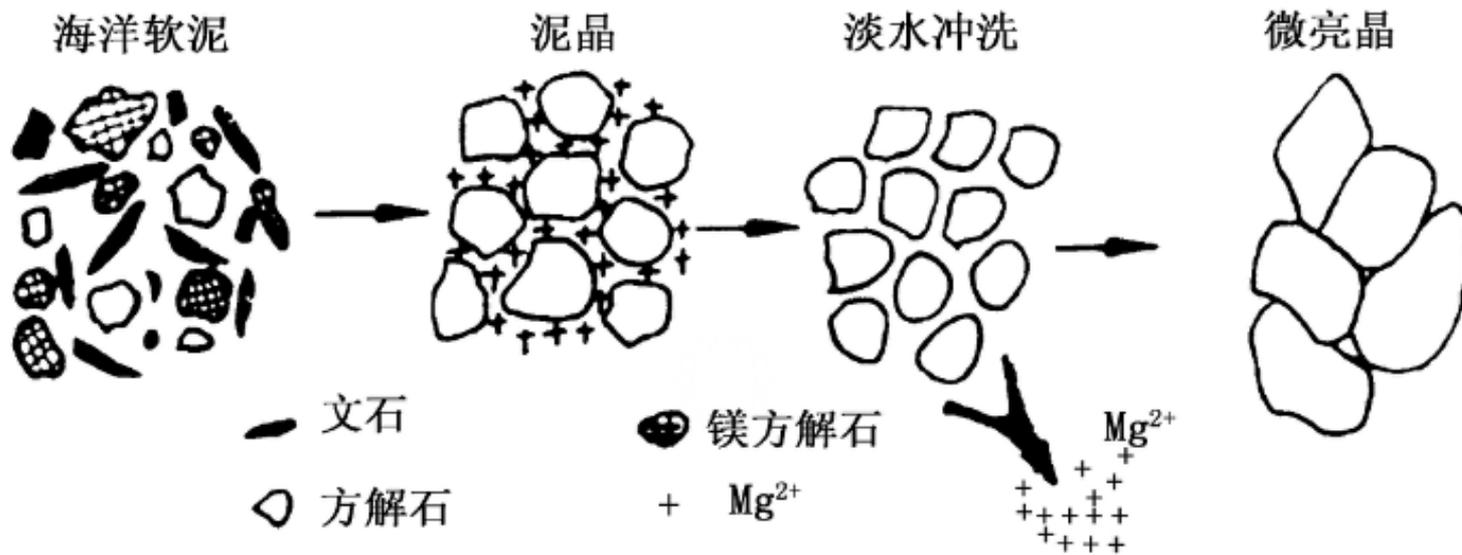
简单重结晶和应力重结晶现象不好区分时，统称为“新生变形作用”（Folk），即广义的重结晶。



第一节 沉积后作用的主要类型

晶体长大——进变新生变形作用→微亮晶

晶体缩小——退变新生变形作用→微泥晶



泥晶转变为微亮晶，示镁离子排出过程
(据福克, 1974)

第一节 沉积后作用的主要类型

1. 微亮晶

某些古代泥晶石灰岩，其泥晶的粒径一般为 $5\sim 10\mu\text{m}$ （而现代沉积仅为 $1\sim 3\mu\text{m}$ ），Folk将其称为微亮晶，它是在成岩过程中，通过与镁离子的迁移有关的重结晶作用形成的。

2. 微泥晶

古代某些石灰岩中，如某些有孔虫、珊瑚藻类、粪球粒等，均由仅 $1\mu\text{m}$ ±的泥晶方解石组成，不显光性，反射光下略带白色，福克称其为“微泥晶”，其形成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毒害效应，阻碍晶体重结晶长大，最终只能形成极小的微泥晶结构。

微亮晶形成过程

由文石或高镁方解石组成的海相碳酸盐泥 (1~2 μ)

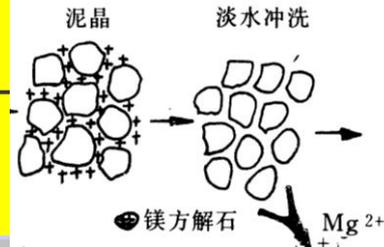
矿物转化和重结晶

海洋软泥



低镁方解石 (2~3 μ) + 镁离子 (分布于方解石周围 \rightarrow 镁套)

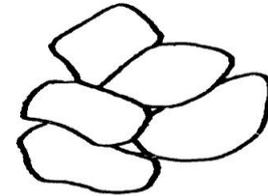
冲洗作用, 粘土矿物吸附作用



低镁方解石 (2~3 μ)

重结晶作用

微亮晶



低镁方解石 (5~10 μ) (微亮晶)

第一节 沉积后作用的主要类型

微亮晶和微泥晶的形成均有两个过程：

早期的矿物转化；

稍后的重结晶作用。

晶体长大→微亮晶（ $5\sim 10\mu$ ）——重结晶作用

如果介质水中有镁离子存在，晶体长不大

晶体缩小→微泥晶（ 1μ ）不显光性

镁离子毒害效应是阻止晶体长大的作用

第一节 沉积后作用的主要类型

3. 矿物的转化作用与重结晶作用异同

相同点：

- 均是通过在极小范围内溶解并立即沉淀完成

不同点：

■ 矿物的同质多象转化

- 晶格和晶形变化，化学成分不变

- 文石（针状、斜方晶系）→低镁方解石（菱面体、三方晶系）

- 转化过程中有锶的丢失

■ 矿物的异质同象转化

- 晶格和晶形无变化

- 化学成分变化，有 Mg^{2+} 带出

■ 重结晶作用

- 晶格不变、晶体大小变化；

- 化学成分不变，变化过程中无成分丢失。

第一节 沉积后作用的主要类型

七、生物成岩作用

生物成岩作用主要包括藻类、真菌和钻孔生物的钻孔与侵蚀，以及钻孔生物死亡后钻孔被细粒碳酸盐沉积物充填或胶结物沉淀，最终将颗粒或岩石泥晶化。

1.藻钻孔

藻类附着在碳酸盐颗粒表面生长，形成一系列的钻孔。

2.泥晶套

由非钙质蓝藻、绿藻和红藻在碳酸盐颗粒边缘钻孔或向外生长，以及泥晶碳酸盐在孔洞或藻间沉淀或充填所形成的泥晶包壳。

第一节 沉积后作用的主要类型

根据其活动过程和方式不同

破坏型泥晶套：藻类从颗粒边缘向内钻孔，形成的藻钻孔被泥晶方解石充填或沉淀——泥晶化作用

建设型泥晶套：形成于颗粒外表面，由藻类附着在颗粒表面面向外生长，死亡后钙化和粘结泥晶方解石而成。

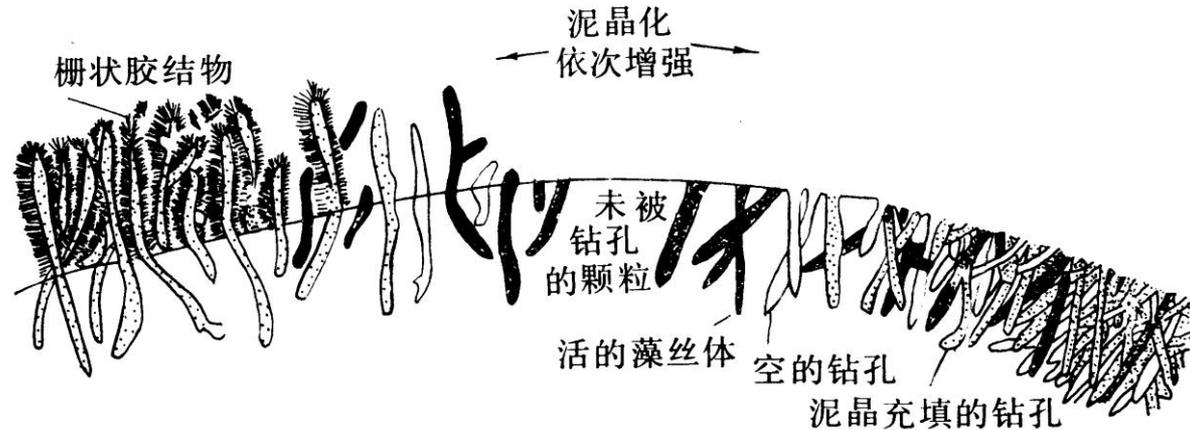


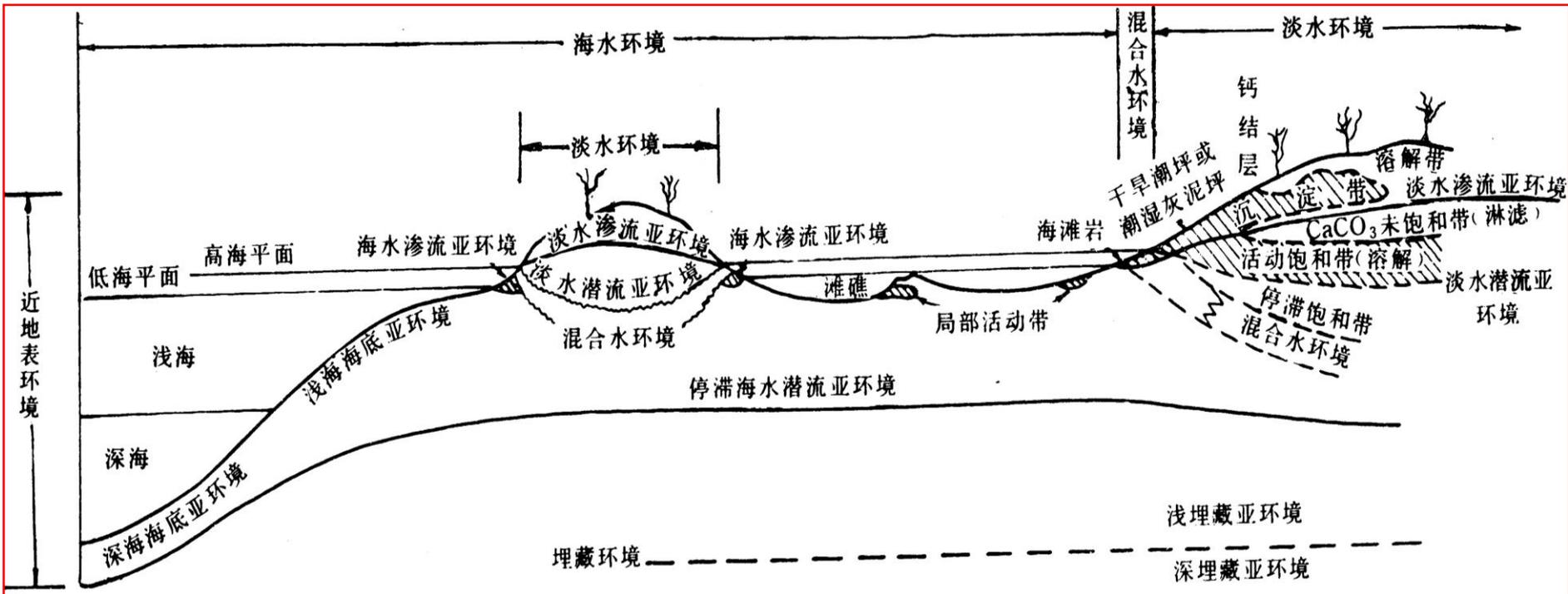
图 15-25 建设型泥晶套（形成于颗粒外表面）
及破坏型泥晶套（形成于颗粒内边缘）的形成过程（据巴瑟斯等，1966）

第二节 沉积后作用的环境及特征

按水的特征及其是否充满孔隙

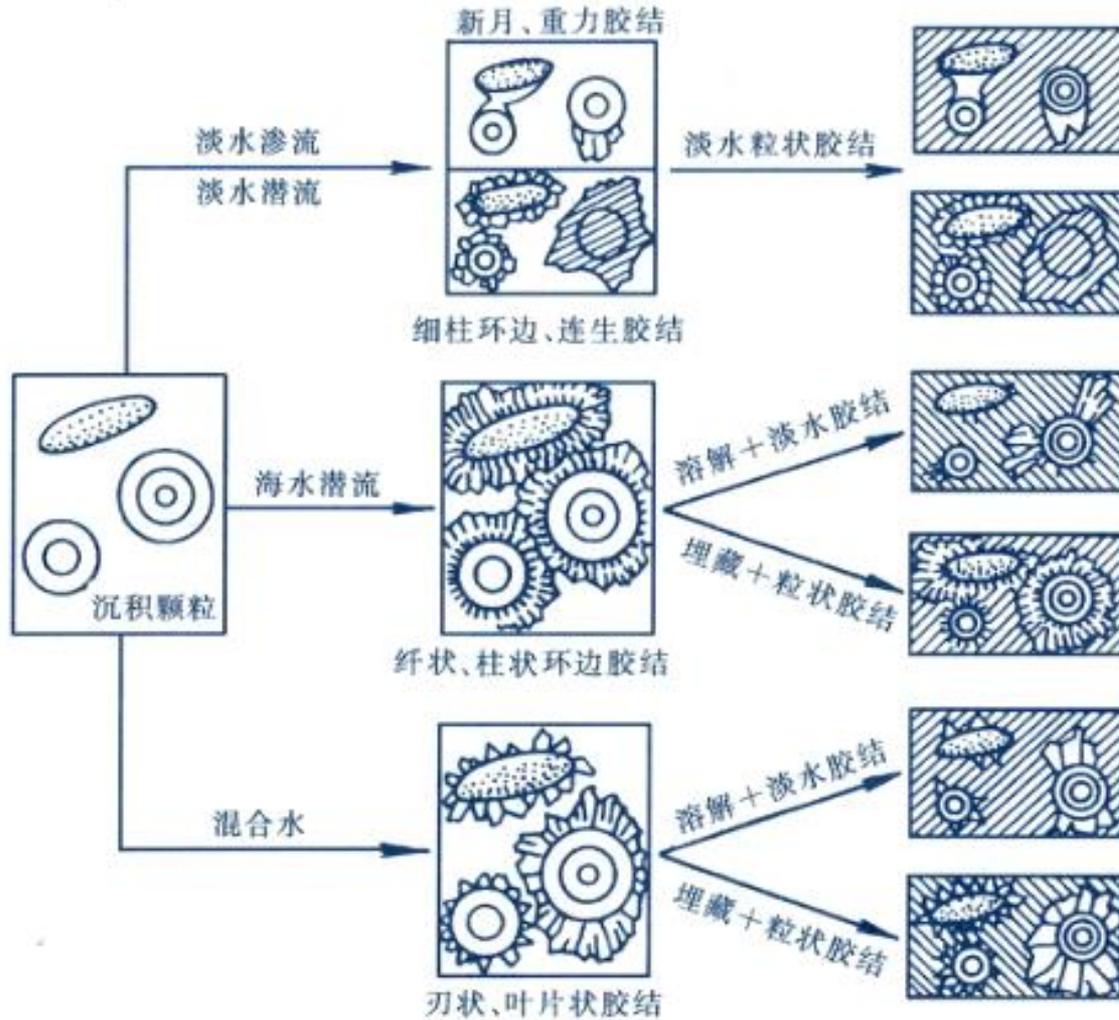
- 一、海水环境（海水渗流及海水潜流亚环境）
- 二、大气淡水环境（淡水渗流和淡水潜流亚环境）
- 三、海水—淡水混合环境
- 四、埋藏环境（浅埋藏和深埋藏）
- 五、表生环境
- 自学

第二节 沉积后作用的环境及特征



碳酸盐沉积后作用环境示意图

第二节 沉积后作用的环境及特征



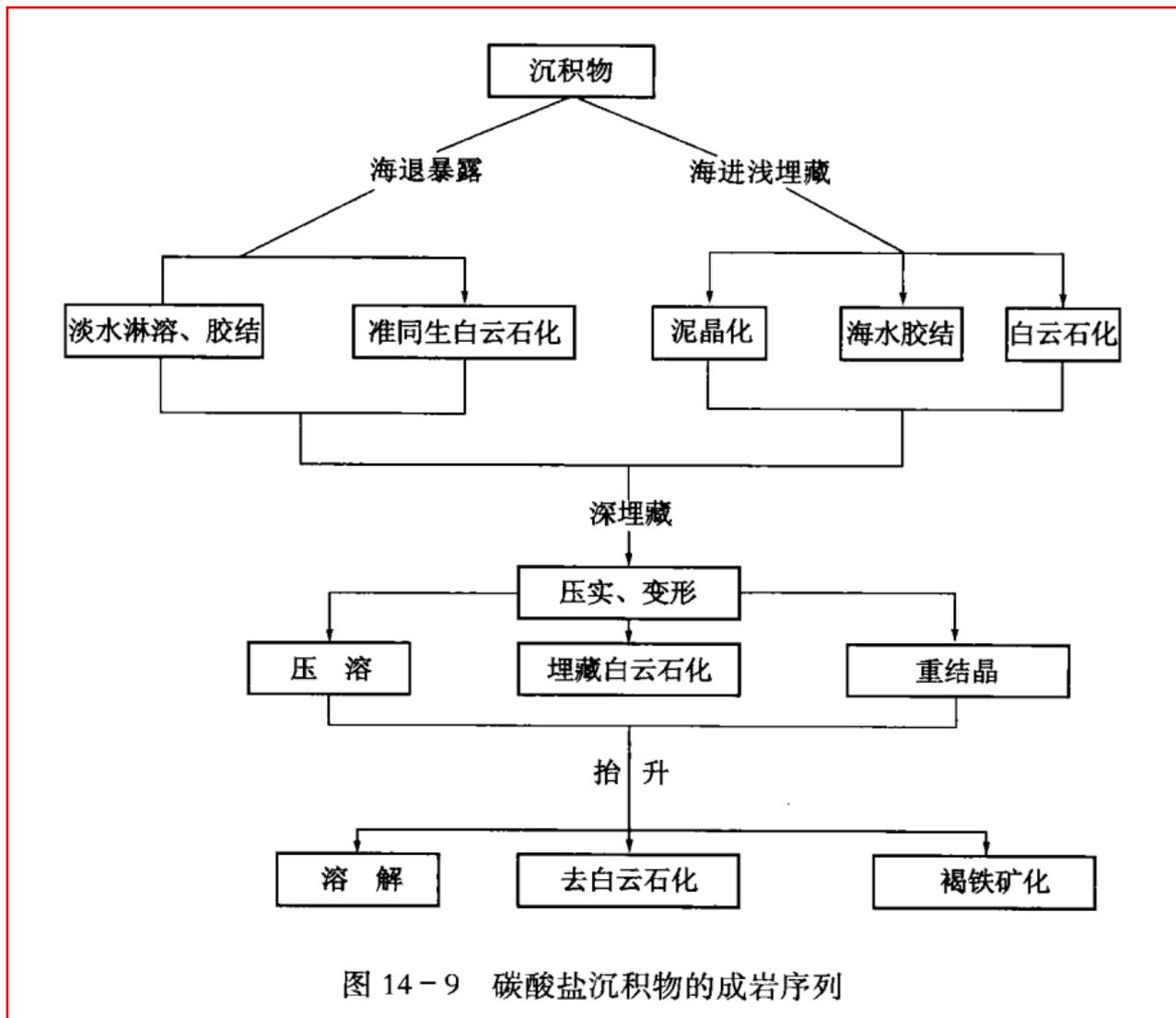
不同成岩环境的胶结物及其演化

第三节 成岩序列和成岩阶段（自学）

一、成岩序列

- 在同一成岩体中各类成岩作用发育和演化的序次；
- 成岩作用受成岩环境的直接控制；
- 成岩作用与沉积作用性质和沉积物的结构密切相关；
- 不同沉积体具有不同的成岩序列。

第三节 成岩序列和成岩阶段（自学）



第三节 成岩序列和成岩阶段（自学）

二、成岩作用阶段及其划分标志

1. 早期成岩阶段：指沉积物脱离沉积介质后，进入地表成岩环境直至深埋藏期之前发生的成岩作用，其中包括同生期成岩作用。

成岩环境包括：大气淡水环境、海（湖）底（水）环境、混合水环境。

成岩作用包括：混合白云石化、膏化、去膏化、去白云石化、溶孔、溶洞等。

第三节 成岩序列和成岩阶段（自学）

2. 中成岩阶段：也可称为深埋藏成岩阶段，典型标志为压实、破碎、变形、嵌入、应变重结晶、压溶、调整白云岩化、硅化等。

3. 晚期成岩阶段：构造抬升导致岩石重新返回大气淡水成岩环境，也称为表生成岩环境，常见成岩类型为：溶解和淡水方解石充填，混合白云石化、硅化、去白云石化、去膏化等。

