

第十三章 白云岩

第一节 白云岩岩类学

第二节 白云岩的生成机理

第三节 白云岩的成因分类



第一节 白云岩岩类学

主要由白云石 (>50%) 组成的沉积碳酸盐岩，叫白云岩。

一、白云岩的分类

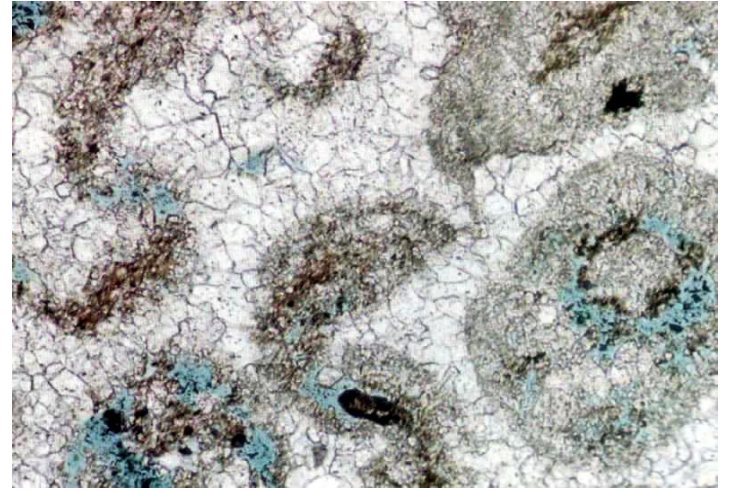
白云岩有沉积成因和次生交代成因2类，其分类命名与石灰岩存在差异。对于沉积成因者，石灰岩的分类原则基本适用，只需将石灰岩结构分类表中的“石灰岩”改为“白云岩”，“灰泥”改为“云泥”。

白云岩主要的结构类型为晶粒结构，并且晶粒较粗，多呈自形或半自形晶，集合体常呈砂糖状。

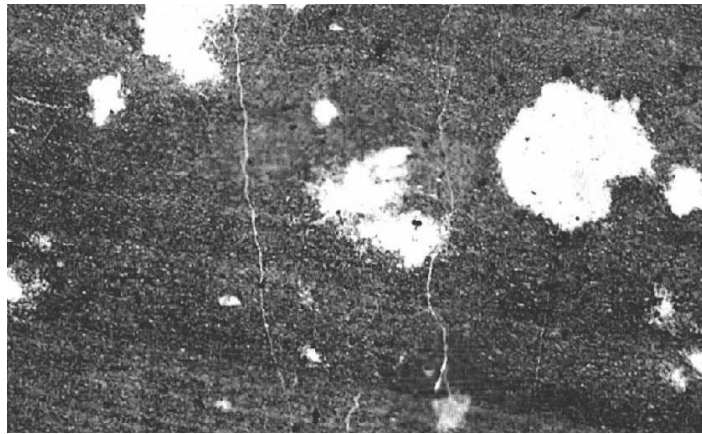
第一节 白云岩岩类学



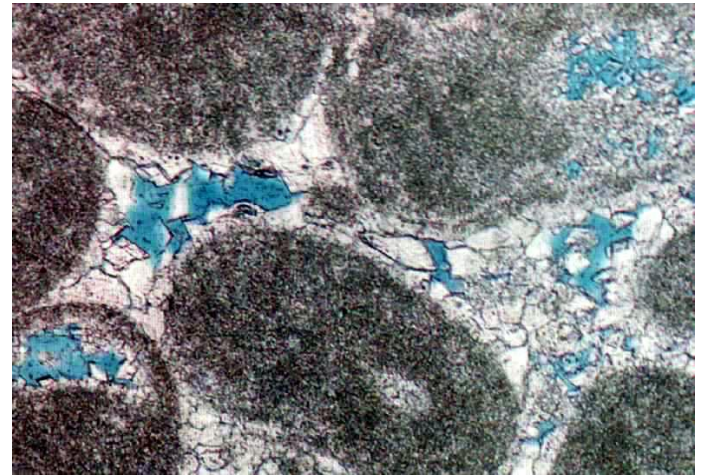
颗粒云岩，螺化石和藻屑溶孔



亮晶鲕粒云岩，胶结物为白云石



泥晶白云岩
藻纹层，鸟眼白云石充填



亮晶鲕粒白云岩

第一节 白云岩岩类学

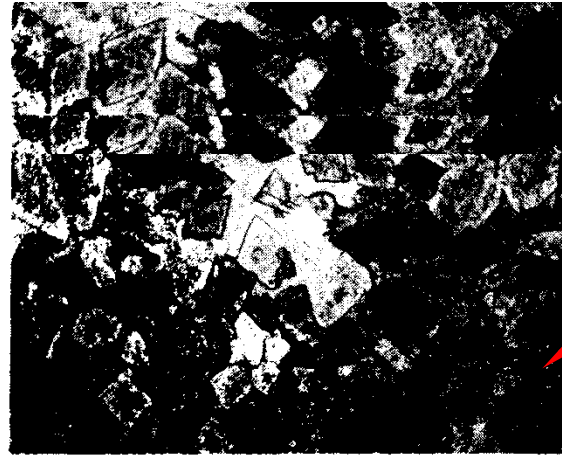
晶粒结构发育

晶粒白云岩

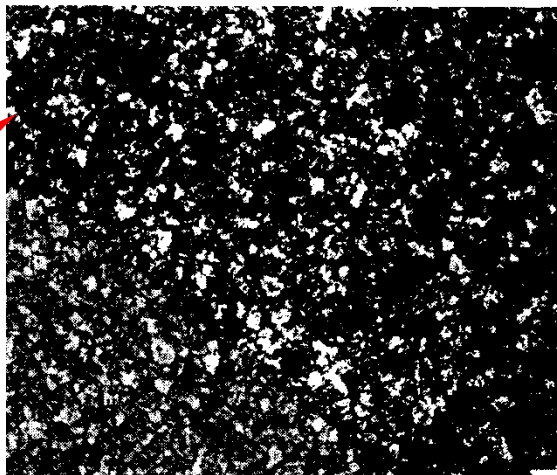
粗—中晶



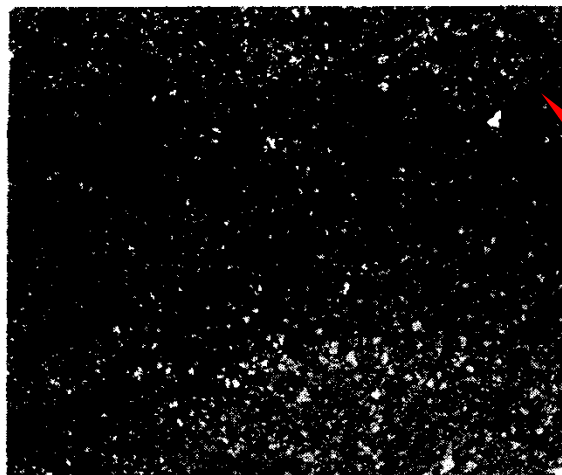
细晶



粗粉晶



细粉晶



第一节 白云岩岩类学

二、白云化交代结构及交代成因白云石的特点

白云岩中**交代结构发育**，交代彻底、结构不清的白云岩，按晶粒大小命名；交代不彻底、沉积结构可见的白云岩，应加上“残余”修饰语，如残余鲕粒白云岩、残余砂屑白云岩等。

1. 白云化（交代）结构

指后来的白云石晶体交代原先的各种结构组分，如交代内碎屑、鲕粒、生粒等。

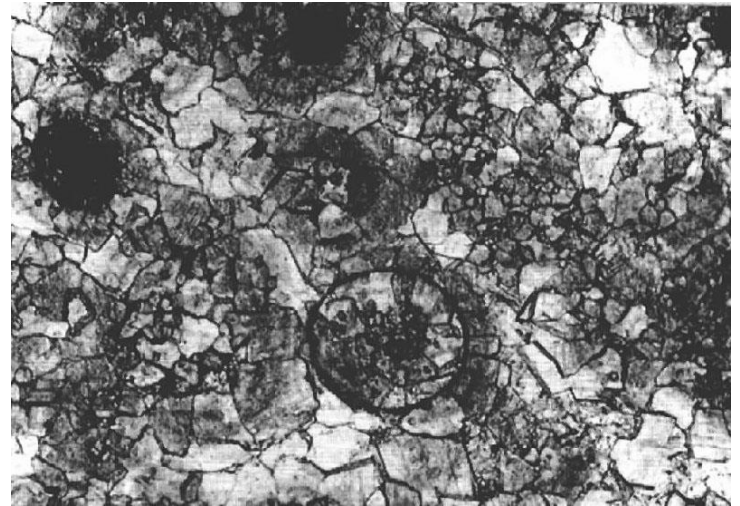
2. 交代成因白云石的特点

- ① 晶粒较粗，细晶以上，常呈砂糖状；
- ② 晶形较好；
- ③ 晶体较污浊（雾心）；
- ④ 清洁的白云石菱形晶体常是淡水淋滤作用的沉淀产物；
- ⑤ 部分白云化石灰岩中白云石呈斑状→云斑石灰岩（豹斑石灰岩）

第一节 白云岩岩类学



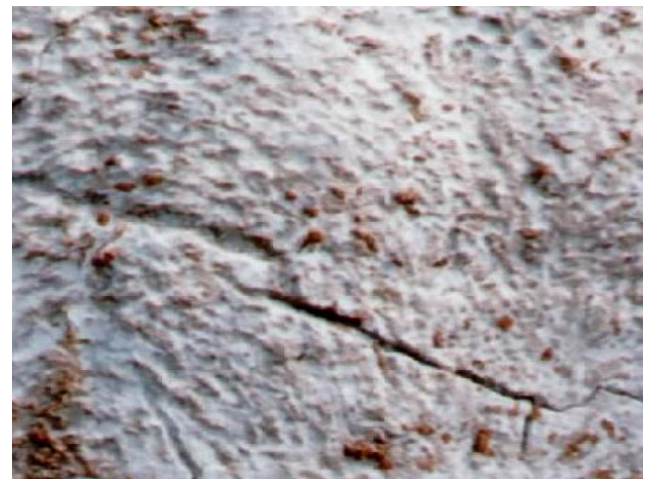
交代结构



残余鲕粒白云岩



“亮边雾心”的交代残余白云石



豹斑石灰岩

第二节 白云岩的生成机理

白云岩**生成机理**，一直是碳酸盐岩岩石学中最复杂、争论时间最长、最难解决的问题之一。

模拟自然环境人工合成真正的、化学计量的白云石（Ca: Mg = 1:1）至今没有成功，只有在 $P_{CO_2} > 4\text{atm}$ 条件下人工合成出白云石。因此，在正常的沉积环境的海水中，能否直接沉淀出大量白云石是值得怀疑的。

20世纪50—60年代以来，通过对巴哈马台地、波斯湾地区以及其他地区现代白云岩的研究，相继提出了一系列白云岩形成机理。

第二节 白云岩的生成机理

一、原生沉淀作用

指以化学沉淀方式从水体中直接沉淀出白云石。

认为在近现代碳酸盐沉积中存在原生白云石沉积物的实例：

①澳大利亚南部考龙泻湖

水很咸，植物茂盛，光合作用强，植物从水中吸取 $\text{CO}_2 \downarrow$ ，pH值增高→有利于白云石沉淀，沉积物主要是高镁方解石和原白云石。

②美国加利福尼亚深泉盐湖

深泉盐湖面积 13km^2 ，湖水深度 30cm ，常年浓盐水约占湖面积 $2/3$ ，湖底沉积物富含白云石，以及其它盐类矿物。

沉积物与水的界面处发生同生交代作用或同生白云化作用

原始沉积物是原白云石，并非真正白云石，因此存在致命的问题。

第二节 白云岩的生成机理

一、原生沉淀作用

白云石原生沉淀条件

①高盐度

比正常（海水）盐度高5~8倍（正常海水盐度3.5%）

②高Mg/Ca比

5: 1~10: 1

③高pH值

碱性~弱碱性

④高温

30°C±

可能环境：泻湖、咸化海、局限海

第二节 白云岩的生成机理

二、毛细管浓缩作用或蒸发泵作用：准同生白云化作用

观察发现，现代热带地区潮上带，如波斯湾南岸、佛罗里达和巴哈马滩等地，正在进行由蒸发作用形成白云岩。

潮上带的细粒沉积物表面存在白云石化薄壳或白云石化深入沉积物浅层内部，潮间带和潮下带沉积物主要是碳酸钙。

这些地区的白云化作用被认为是由于潮上带沉积物的孔隙水的高盐度和高Mg/Ca比值的卤水的交代作用造成的。

弗里德曼等（1967）、许靖华等（1971）等研究波斯湾的萨布哈白云化作用，提出潮上带高盐度和高Mg/Ca比值的卤水是一种“向上运移的孔隙水因蒸发作用引起的毛细管浓缩作用”造成的，并称之为“蒸发泵作用”。

第二节 白云岩的生成机理

文石 (潮上带, 疏松, 富含粒间水)

气候干热, 粒间水蒸发

海水通过毛细管作用补给

粒间水盐度增大 (海水→盐水)

石膏等沉淀 (Ca离子浓度减小)

Mg/Ca比值增大 (由正常海水3:1→40:1)

与文石接触, Mg离子将代替Ca离子

白云石

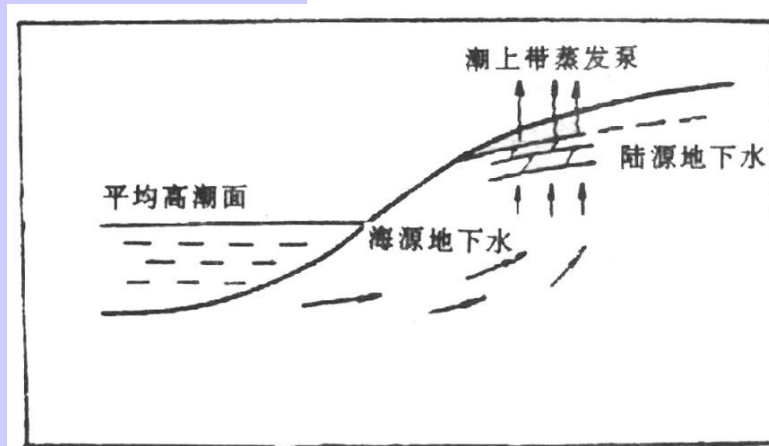


图 16-10 潮上萨巴哈蒸发泵白云石化机理
(许靖华等, 1969)

毛细管浓缩作用或蒸发泵作用机理

第二节 白云岩的生成机理

毛细管浓缩作用或蒸发泵作用机理

白云岩特征

- **成分** 白云石为主，也有方解石、粘土矿物等
- **结构** 泥晶—粉晶结构
- **构造** 水平层理（纹层状）、叠层石、泥裂、鸟眼
- **颜色** 灰红、紫红、粉红、灰黄等氧化色
- **产状** （中）薄层为主，分布稳定，侧向延伸远
- **共生组合**
 - 与蒸发岩共生
 - 有时见石膏假晶或石膏溶解后形成的岩溶角砾
- **形成环境** 潮上带低能区
- **形成时期** 准同生期和成岩早期

第二节 白云岩的生成机理

三、回流渗透白云岩化作用

潮上带形成的高镁粒间水对表面沉积物的白云化完成后，若仍有富余，由于比重较大，在重力作用下会向下回流渗透，当其流经下伏的碳酸钙沉积物或石灰岩时，将使它们发生白云石化，从而形成**白云岩或部分白云化的石灰岩**。

- 形成地点：潮上带
- 形成时间：成岩期

第二节 白云岩的生成机理

三、回流渗透白云岩化作用

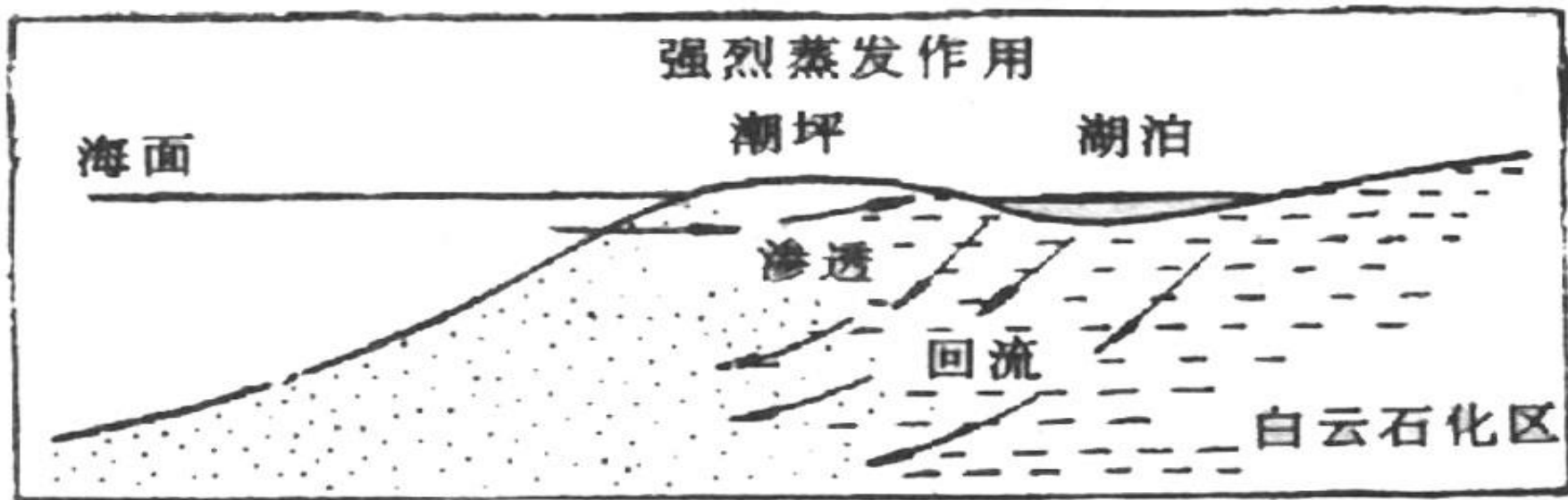
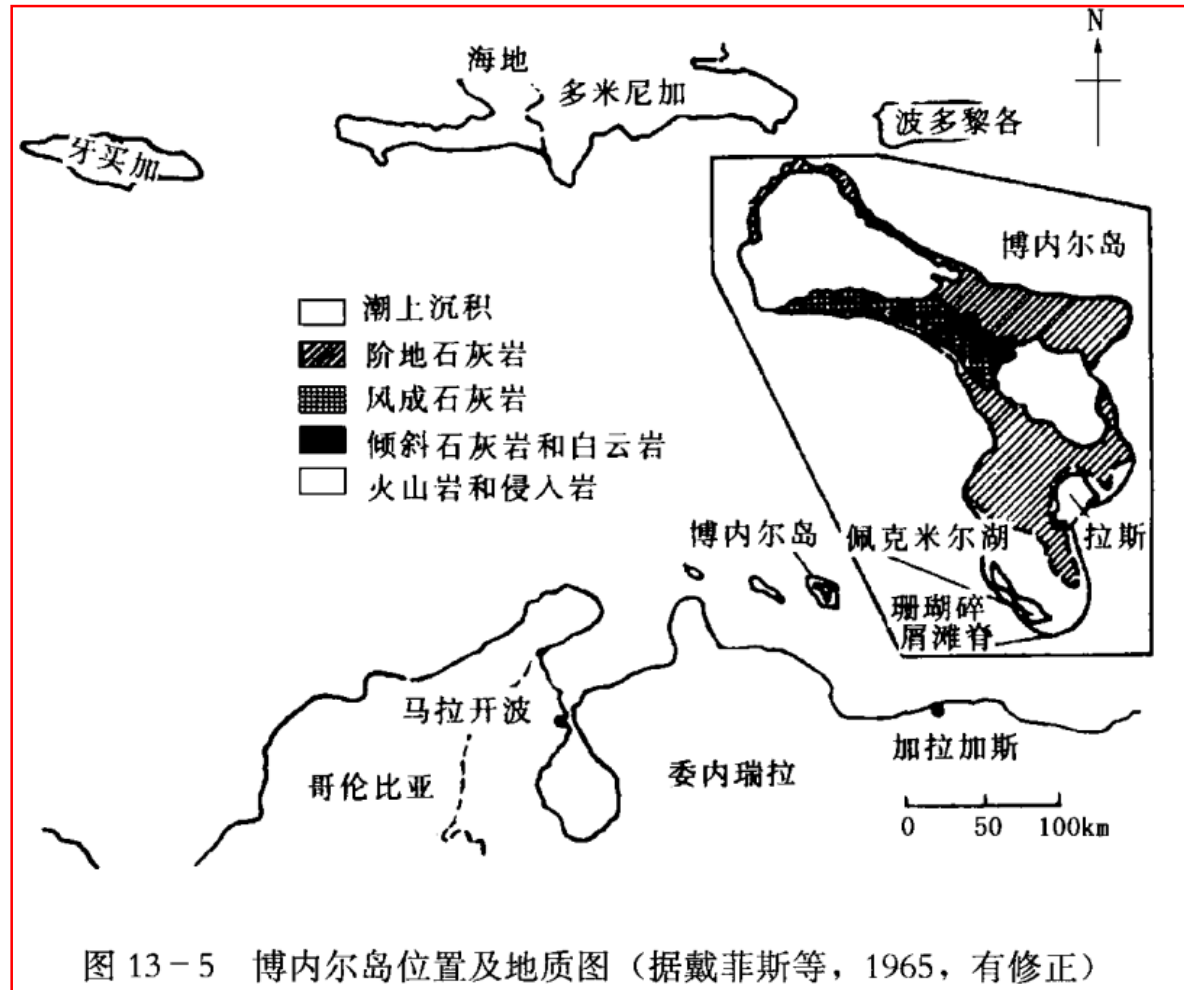


图 16-11 白云石化作用的渗透回流机制
(据 K. S. Deffeyes, 1965)

第二节 白云岩的生成机理

- 博纳尔岛实例
- 珊瑚礁碎屑组成的滩脊遮挡,形成佩克米尔潟湖
- 湖平面低于海平面
- 海水通过珊瑚脊补充
- Mg/Ca维持在20:1, 一直处于沉淀石膏的状态, 原因是高Mg/Ca比率的湖水向下渗透。
- 表层毛细管浓缩作用形成白云石年龄2195万年
- 表层之下发生回流渗透白云岩化作用。



第二节 白云岩的生成机理

白云岩的特征

成分

白云石为主，少见伴生矿物

结构

晶粒较粗大，多粉晶以上，砂糖状白云岩多由此生成。

晶体多（半）自形—自形，污浊，雾心亮边

白云化作用常不彻底，见残余结构

如豹皮灰岩、云斑灰岩（白云石呈斑块状分布）

分布

不稳定，呈透镜状

共生组合

与准同生白云岩共生，且常位于其下方

第二节 白云岩的生成机理

四、混合白云岩化作用

原生沉淀作用

毛细管浓缩作用—准同生白云化作用

回流渗透白云化作用

|

蒸发环境

高Mg/Ca比率的介质条件

第二节 白云岩的生成机理

四、混合白云岩化作用

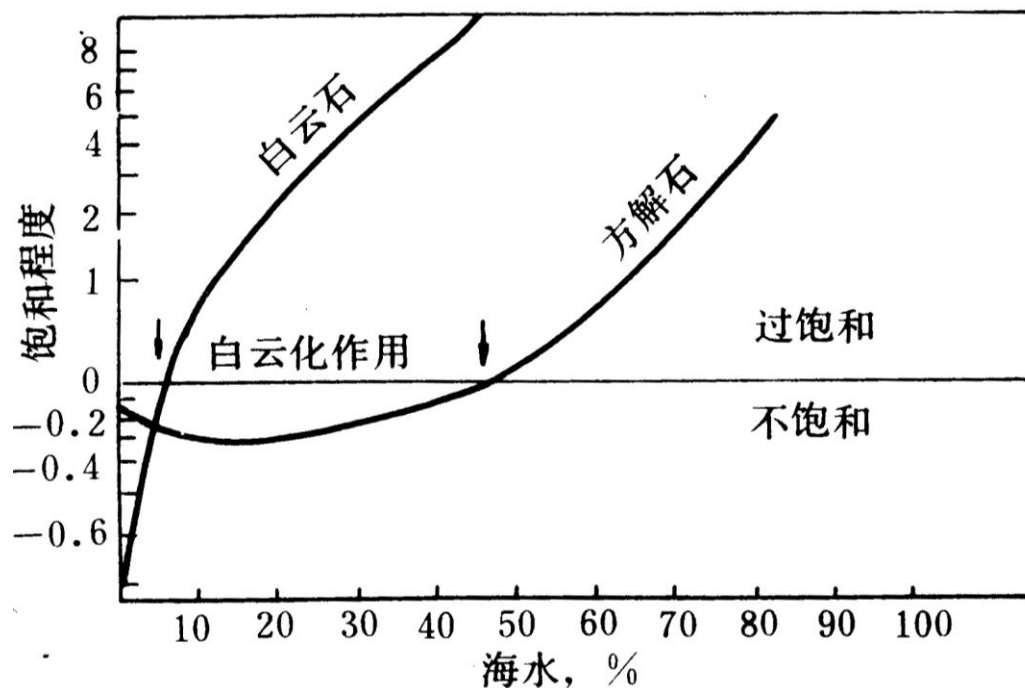
- 有些白云石，例如分布在陆表海陆棚或构造高地的白云岩，没有与蒸发岩共生，也缺乏潮上环境的成因标志。
- 对于这种白云岩，高镁/钙比率的超盐水的白云化模式就不适用了。

怎么解释？

第二节 白云岩的生成机理

■ 巴迪奥扎曼尼 (Badiozamani, 1973) 用实验证明

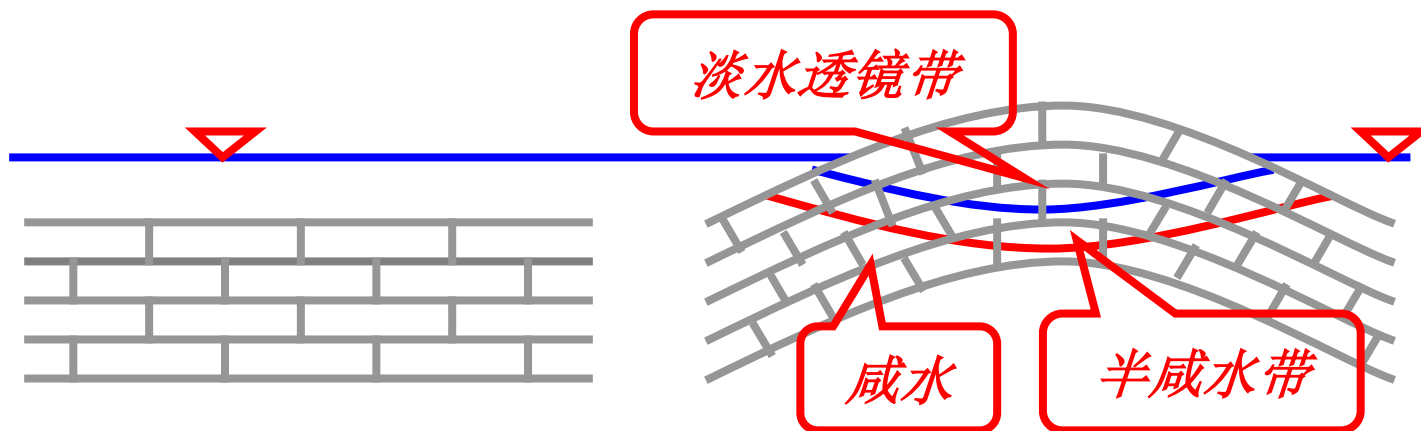
- 大气水与正常海水的混合液对方解石和白云石的饱和程度的影响程度不同
- 在海水为5~50%的混合液巾发生方解石被白云石的交代作用——白云化作用
- → 混合白云化作用



第二节 白云岩的生成机理

认识：

- 白云石交代方解石未必需要蒸发作用和高镁/钙比率的盐水，只要有一定的淡水、咸水混合，同样可以发生白云化作用，这样就可以解释分布于陆表海陆棚或构造高地的白云岩的成因问题。



第二节 白云岩的生成机理

■ 特征

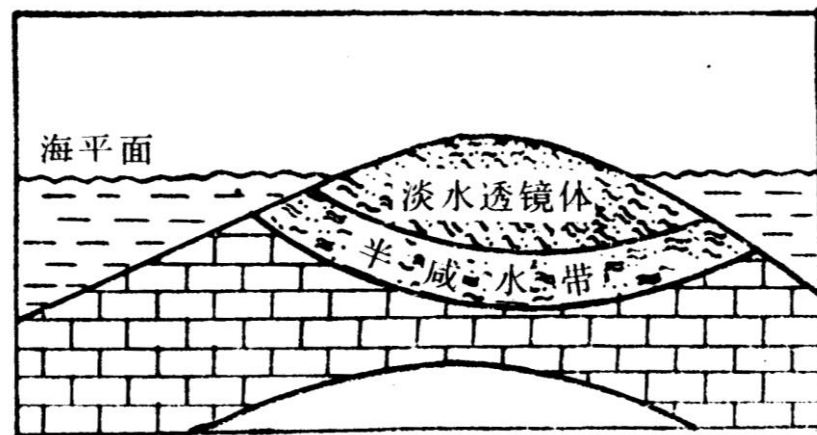
- 常沿正性单元分布的，伴随有不整合的，而又缺乏潮上或泻湖等蒸发环境的白云岩。

■ 实例

- 巴迪奥扎曼尼用混合白云化作用解释美国威斯康星的中奥陶统的白云岩成因问题。

威斯康星背斜，在岩石出露水面以后，淡水透镜体及其下伏的半咸水带的位置，混合白云岩化作用在此透镜体以下的半咸水带中进行

◆ 未强调 Mg^{2+} 来源



威斯康星中奥陶统米夫林段
白云岩化作用示意图

第二节 白云岩的生成机理

五、埋藏白云化作用

■ 温度升高有利于白云石的形成

常温下，不能在实验室里从水中沉淀出白云石，但当温度达到100度以上时就能够合成白云石。地下深处温度较高，白云石可以形成，常作为裂缝充填物或砂岩胶结物等。

■ 成因

随埋藏深度加大，粘土矿物转化，释放出来Mg离子，压实作用使Mg离子运移到石灰岩中从而导致白云化。

■ 实例

济阳拗陷下第三系沙三段中下部大套泥岩中常出现薄层白云岩、白云质泥岩，Mg²⁺的富集可能与泥岩成岩作用过程中粘土矿物的转化、成岩水的析出有关。

第二节 白云岩的生成机理

六、调整白云化作用

古德尔和加曼（1969）在对大巴哈马滩安德罗斯岛上的深探井（苏比利尔井）进行岩石学和地球化学研究后，提出调整白云化机理。认为：海平面下降使沉积物中的高镁方解石暴露于大气淡水中，高镁方解石发生溶解，释放出Mg离子，使该处或下伏的碳酸盐沉积物发生白云化。

所需镁：来自原来的沉积物本身，不需要另外的来源

所需条件：海平面下降，或者地壳上升

特点：

零散富集，局部出现白云石晶体

大规模富集，形成薄层白云岩（向某一方向延伸尖灭）

常与混合白云化作用共生

第二节 白云岩的生成机理

七、控制白云岩结晶的因素

福克和兰德 (Folk and Land, 1975)

控制白云石结晶作用的主要因素

溶液的镁/钙比率

盐度

结晶速度

在变盐度环境中，缓慢的结晶速度下，低镁/钙比率（近于1: 1）也能形成白云石——淡水白云石。

第二节 白云岩的生成机理

白云石生成的化学动力学障碍：

(1) Mg^{2+} 与 Ca^{2+} 的差异水合性
(Mg^{2+} 对水的静电结合能力大约比 Ca^{2+} 高出20%)

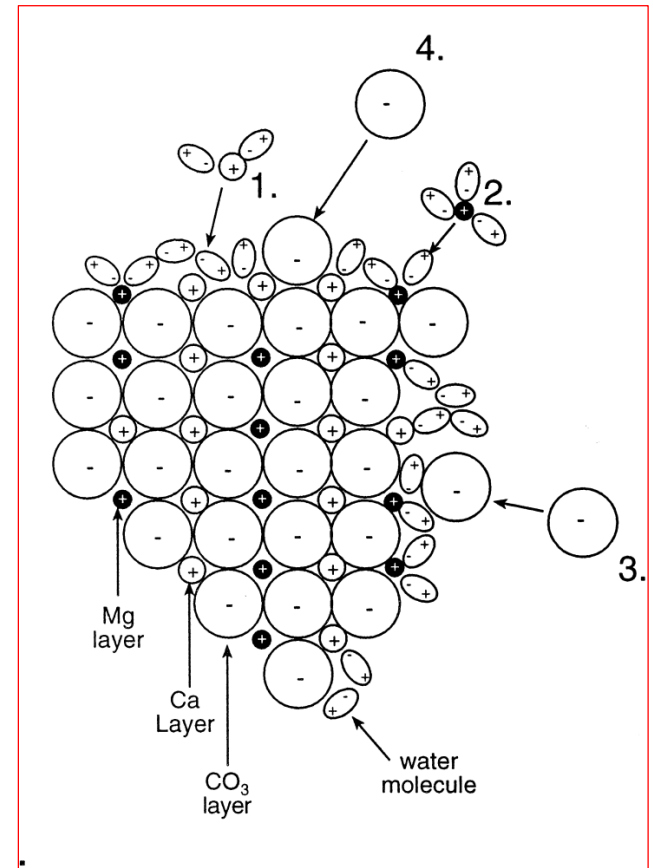
(2) SO_4^{2-} 的限制作用 (SO_4^{2-} 相对 CO_3^{2-} 静电结合能力更强)

(3) CO_3^{2-} 浓度或活度过低

碳酸盐过饱和的条件下，会先沉淀结构简单、有序性低的文石和高镁方解石。

克服白云石形成障碍的可能过程：

溶液（海水）蒸发浓缩、稀释、温度升高、降低 SO_4^{2-} 含量、增大碱度（提高 CO_3^{2-} 活度）等。



非理想白云石的晶体结构（据 Lippmann, 1973）

第三节 白云岩的成因分类

白云岩

成因分类	原生白云岩	次生白云岩										
		同生白云岩	准同生白云岩		成岩白云岩			后生白云岩				
生成机理	直接的水化学沉淀	界面白云化作用	毛细管白云化作用	回流渗透白云化作用	回流渗透白云化作用	混合白云化作用	调整白云化作用	回流渗透白云化作用	混合白云化作用	调整白云化作用	热液作用	变质作用