

第六章 碳酸盐岩

(Carbonate Rocks)



Carbonate shelf in the Bahamas



第一节 碳酸盐岩概论

(General view of carbonate rocks)

一、概述 (Summary)

碳酸盐岩：主要由**方解石**和**白云石**等碳酸盐矿物组成的沉积岩。

规模：占沉积岩总量的20%。



平面分布：

- 我国沉积岩占面积75%，而碳酸盐岩占沉积岩覆盖面积的55%。
- 主要分布于海洋环境，其次为湖泊和其他环境。

垂向（时代）分布：

- 古生代和前寒武纪深海碳酸盐岩较少。
- 白垩纪以后深海碳酸盐岩广布。
- 现代深海中碳酸钙的平均含量为32.2%。



经济价值：

- 主要的生油气岩和储油气岩（储量50%，产量60%）。
- 冶金熔剂、化工原料、耐火工业原料、提炼Mg的原料。
- 地下水的储集岩。
- 蕴藏着丰富的金属和非金属矿产，Fe、Cu、Pb、Zn、Hg、P。

二、碳酸盐岩的物质组成及成分分类

(composition and classification of carbonate rocks)

(一) 碳酸盐岩的矿物成分

碳酸盐矿物，非碳酸盐自生矿物，陆源矿物。

1. 主要的碳酸盐矿物

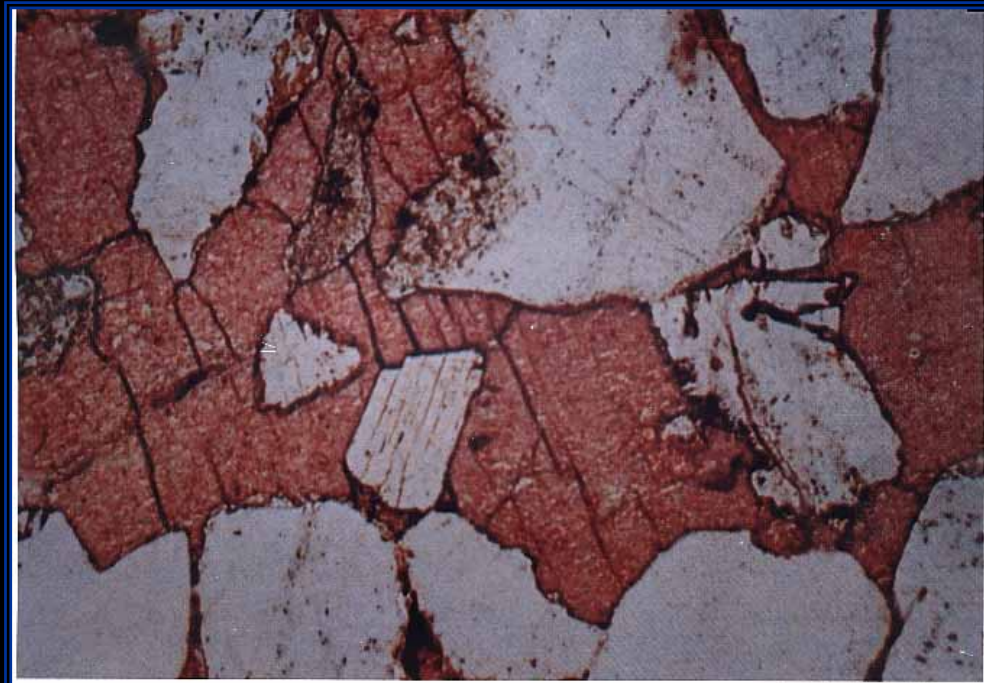
● 方解石矿物体系：

方解石、文石、高镁

方解石、低镁方解石

● 白云石矿物体系：

白云石、原白云石





交代残余的“亮边雾心”菱面体白云石



2.次要的碳酸盐矿物

- 铁白云石、菱铁矿、菱镁矿等。

3.非碳酸盐的自生矿物

- 石膏、天青石、重晶石、萤石、石盐等。

4.陆源矿物

- 粘土矿物、石英、长石、云母、绿泥石、重矿物等。

5.有机质

(二) 碳酸盐岩的化学成分

- 主要化学成分：CaO、MgO、CO₂
- 次要化学成分：SiO₂、TiO₂、Al₂O₃、FeO、Fe₂O₃、K₂O、Na₂O、H₂O等



● **纯石灰岩**：CaO占56%、CO₂占44%

● **一般的石灰岩**：CaO占42.61%、MgO占7.90%、CO₂占41.58%、SiO₂占5.19%、其他氧化物2.72%

● **纯白云岩**：CaO占30.4%、MgO占21.8%、CO₂占47.8%

● **微量元素**：Sr、Ba、V、Ni



(三) 碳酸盐岩中同位素成分及其意义

(1) 氧同位素： ^{18}O 、 ^{16}O

(2) 碳同位素： ^{14}C 、 ^{13}C 、 ^{12}C

(3) 研究意义：

- $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ——水体环境
- $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ——海水温度的函数
- $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ——生物成因与无机成因
- ^{12}C 大量逸失， ^{13}C 富集——蒸发环境



●淡水方解石 ^{13}C 约-1.34~4.93PDB，正常海水石灰岩 ^{13}C 约为-0.20~0.56PDB，潮上云坪准同生白云岩的 ^{13}C 则为1.25 ~ 1.73PDB

● ^{14}C 可以确定在2万年以内碳酸盐沉积物的年龄。

●针对侏罗纪以后的碳酸盐岩，可据公式确定其沉积环境

$$Z=a (\quad ^{13}\text{C}+50) +b (\quad ^{18}\text{O}+50)$$

其中 $a=2.048$ ， $b=0.498$ ， $Z>120$ 海相



(四) 碳酸盐岩的成分分类

1. 基本分类方案

方解石和白云石系列的岩石类型 (据冯增昭, 1993)

岩石类型		方解石%	白云石%	CaO:MgO
石灰岩类	石灰岩	100~95	0~5	>50.1
	含云石灰岩	95~75	5~25	50.1~9.1
	云质石灰岩	75~50	25~50	9.1~4.0
白云岩类	灰质白云岩	50~25	50~75	4.0~2.2
	含灰白云岩	25~5	75~95	2.2~1.5
	白云岩	5~0	95~100	1.5~1.4

95% , 75% , 50% , 25% , 5%

或90% , 75% , 50% , 25% , 10%



野外划分为四个系列：

石灰岩：方解石 $>75\%$

云质石灰岩：方解石 $75 \sim 50\%$ ，白云石 $25 \sim 50\%$

灰质白云岩：白云石 $75 \sim 50\%$ ，方解石 $25 \sim 50\%$

白云岩：白云石 $>75\%$



石灰岩和粘土岩系列的岩石类型（据冯增昭，1993）

岩石类型		方解石%		粘土矿物%	
石灰岩	纯石灰岩	100~95		0~5	
	含泥 石灰岩	90~75	微含泥 石灰岩	95~90	5~10
			含泥 石灰岩	90~75	10~25
	泥质石灰岩	75~50		25~50	
粘土岩	灰质粘土岩	50~25		50~75	
	含灰粘土岩	25~5		75~95	
	纯粘土岩	5~0		95~100	

这里的“泥”指粘土成分的泥

野外界限：75%，50%，25%

类型：石灰岩，粘土（砂，粉砂）质石灰岩，灰质粘土（砂，粉砂）岩，粘土（砂，粉砂）岩



2. 两级或三级分类命名原则

两级命名：

× × 质 (25% ~ 50%) × × 岩 (>50%)

三级命名：

含 × × (10% ~ 25% 或 5% ~ 25%) × × 质 (25% ~ 50%) × × 岩 (>50%)

复合命名 (都 < 50%)：

含 × × (< 25%) × × (25% ~ 50% , 较少者) — × × (25% ~ 50% , 较多者) 岩



◆方解石55% , 白云石15% , 粘土30%

含白云石粘土质灰岩

◆白云石60% , 粉砂28% , 泥12%

含泥粉砂质白云岩

◆白云石36% , 细砂48% , 粉砂16%

含粉砂白云—细砂岩



三、碳酸盐岩的结构组分

(textural constituents of carbonate rocks)

颗粒结构：由**颗粒**、**泥晶基质**、**亮晶胶结物**、**孔隙**等构成。

生物骨架结构：由**造架的生物**和**粘结的生物**与**填隙的颗粒**或**泥晶基质**及**亮晶胶结物**构成。



泥晶或微晶结构：出现在低能环境下由化学沉淀或生物化学作用而形成的碳酸盐岩中。

晶粒结构/残余结构：碳酸盐岩经过重结晶或者发生白云化后的结构。

(一) 颗粒

碳酸盐岩颗粒：泛指**沉积盆地内**由化学、生物化学成因的碳酸盐沉积物，在波浪、潮汐等水流作用下**就地或经短距离搬运**而形成的一系列碳酸盐岩颗粒，简称“**颗粒**”。

福克（1959，1962）：**异化颗粒、异化组分**

分类：内碎屑、鲕粒、藻粒、球粒、生物颗粒

1.内碎屑

内碎屑：主要是沉积盆地中沉积不久的、半固结或固结的碳酸盐沉积物，受波浪、潮汐、风暴等的冲刷、破碎、磨蚀、搬运、再沉积而成的颗粒，也可以是其他作用形成的。



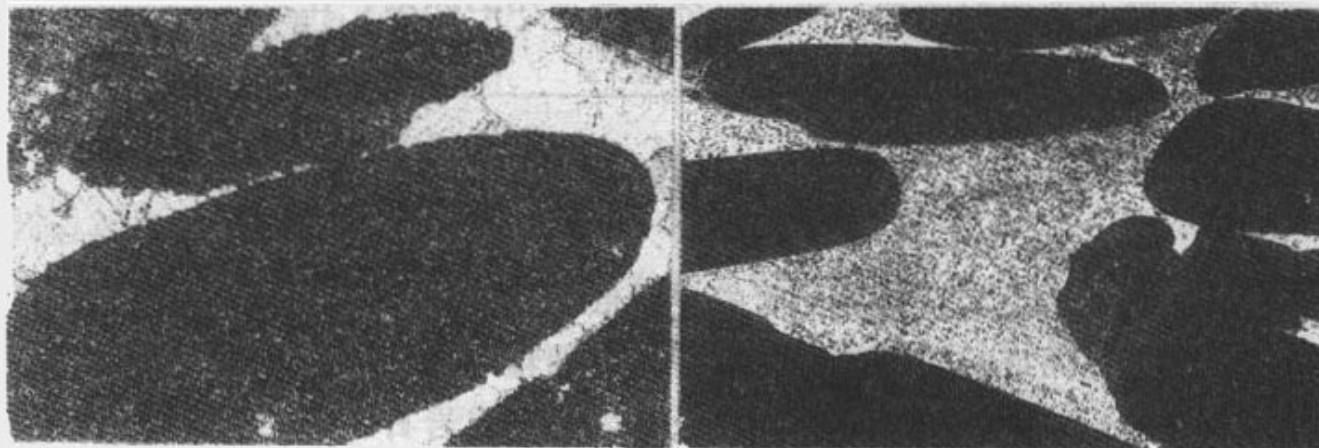
内碎屑级别的划分：

内碎屑	砾屑	砂屑					粉屑		泥屑
		极粗砂屑	粗砂屑	中砂屑	细砂屑	极细砂屑	粗粉屑	细粉屑	
mm	2.0	1.0	0.5	0.25	0.1	0.05	0.01	0.005	



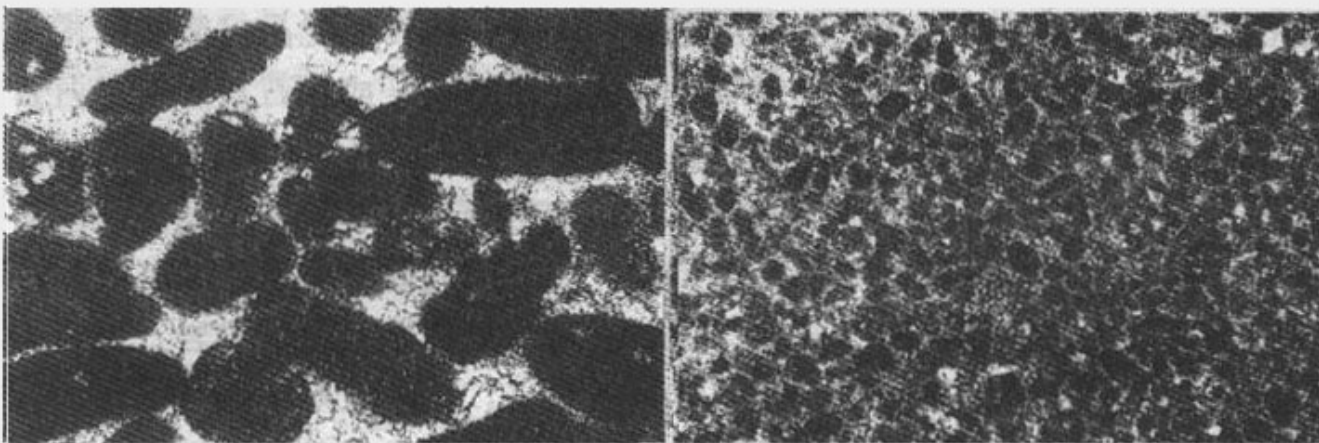
陆源碎屑级别的划分

陆源碎屑	砾				砂			粉砂		粘土 (泥)
	巨砾	粗砾	中砾	细砾	粗砂	中砂	细砂	粗粉砂	细粉砂	
mm	1000	100	10	2	0.5	0.25	0.1	0.05	0.01	



(a)

(b)



(c)

(d)

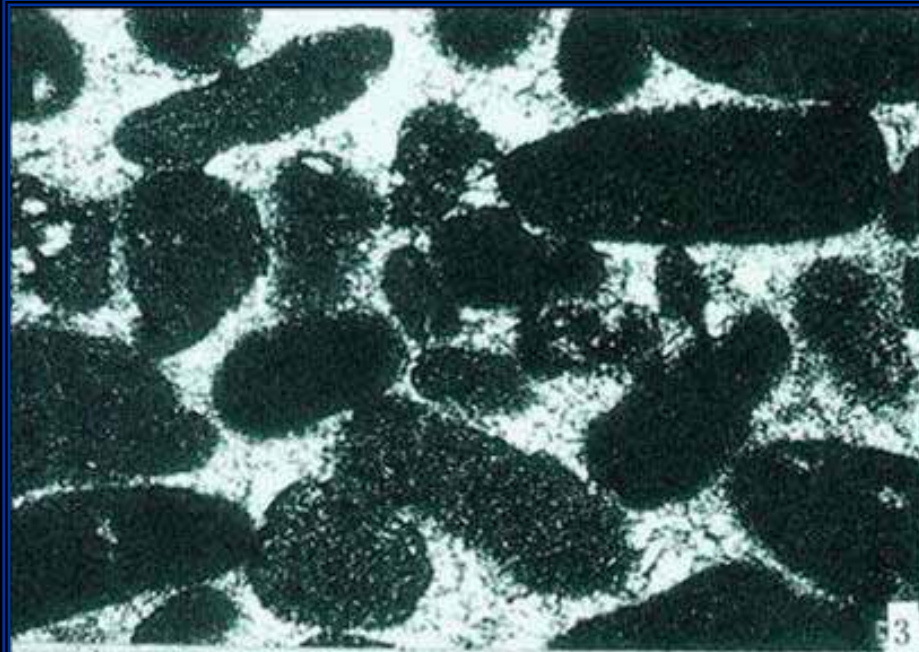
内碎屑 (据冯增昭, 1994)

(a) 砾屑, 砾屑石灰岩, 河南登封下寒武统馒头组, 单偏光, $\times 50$;

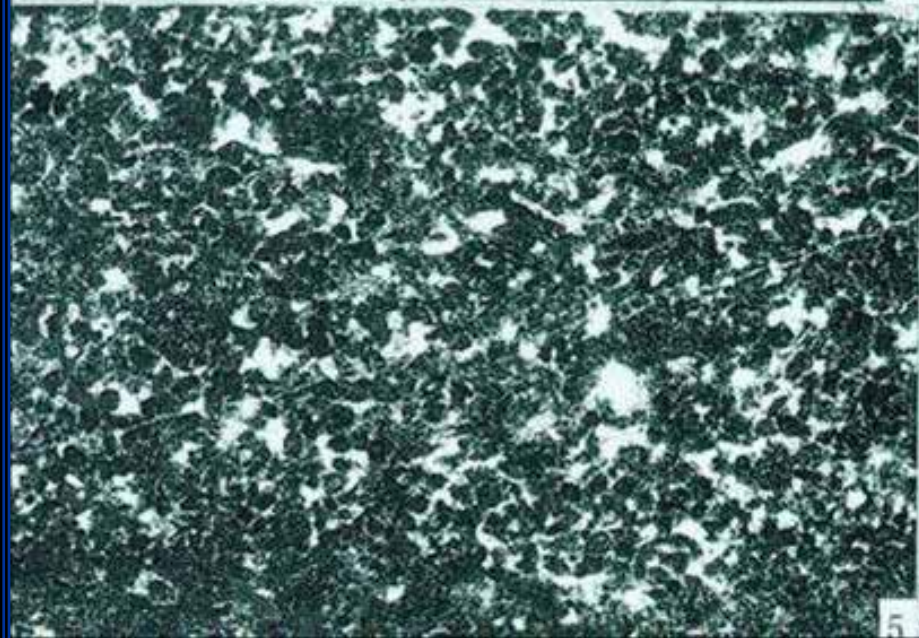
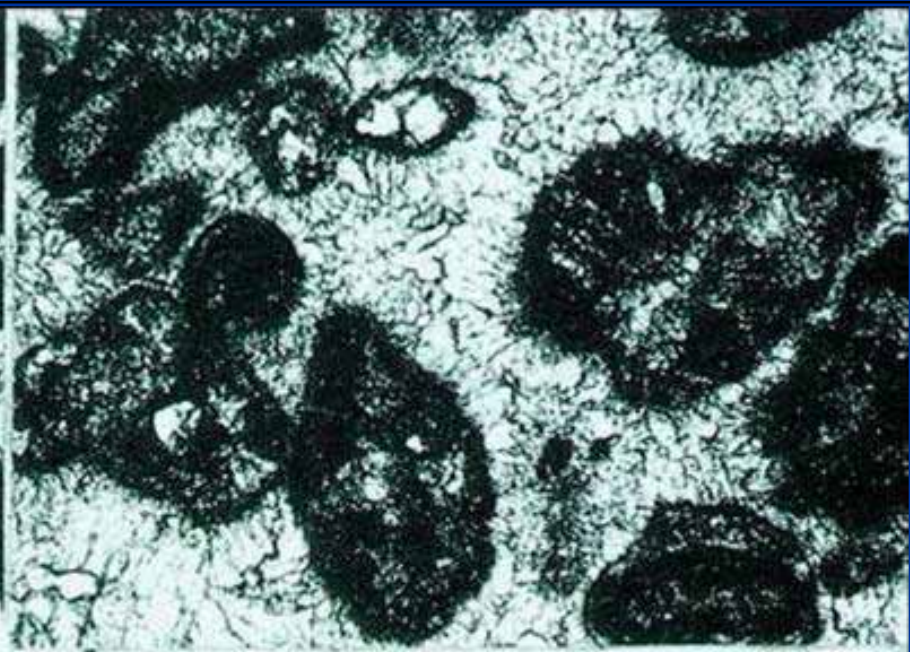
(b) 砾屑, 竹叶(状砾屑)石灰岩, 内蒙乌海上寒武统固山组, 放大机直拍, $\times 6$;

(c) 砂屑, 砂屑石灰岩, 安徽淮南下寒武统毛庄组, 单偏光, $\times 50$;

(d) 粉屑, 粉屑石灰岩, 安徽淮南下寒武统馒头组, 单偏光, $\times 50$



3



5



砂屑灰岩

内碎屑砾石排列方位的古地理意义：

- 就地堆积：大体平行于岩层层面排列



- 单向水流搬运堆积：单向倾斜排列（叠瓦状）
- 潮汐或波浪搬运堆积：双向倾斜排列
- 强风暴流堆积：放射状、倒小字状、菊花状、杂乱状



石门寨潮水峪长山组竹叶状灰岩：**风暴成因**



石门寨亮甲山亮甲山组砾屑灰岩：磨圆差，分选差，大致平行于岩层面，属于原地堆积



2. 鲕粒

鲕粒：一种由**核心**和**包壳**组成的粒径**小于2mm**的**球形或椭球形**颗粒。

核心：陆源碎屑、内碎屑、生物碳酸盐颗粒等

包壳：化学沉淀形成的**同心状**或**放射状**微晶碳酸盐矿物。





现代沉积中未经变化的鲕粒同心壳层由**隐**

晶质文石组成：

- **文石针呈放射状**：缓慢沉淀与弱搅动
- **文石针呈切线方向排列**：快速沉淀与强烈搅动



鲕粒不同于豆粒和核形石：

豆粒：粒径 $>2\text{mm}$ 豆状

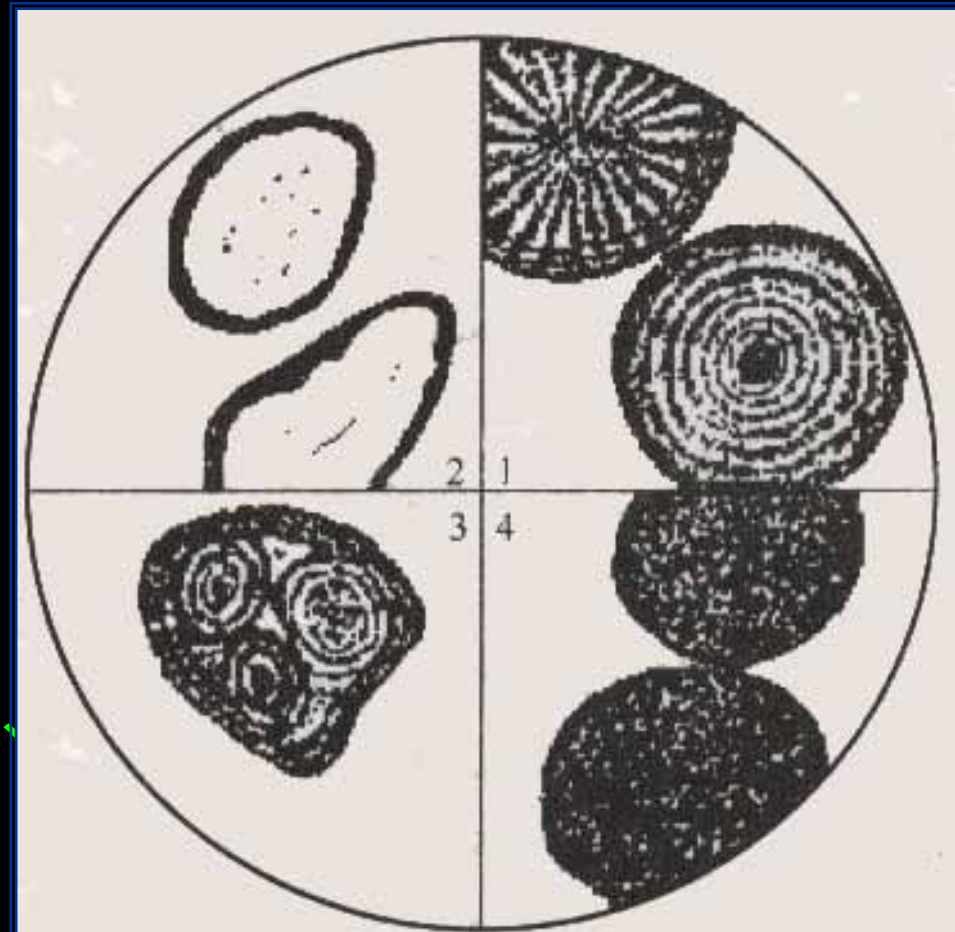
核形石：具不等厚包壳，果核状

原生鲕粒的基本类型：

正常鲕、表皮鲕、复鲕

其他名称及分类：

假鲕、单晶鲕、多晶鲕、
负鲕、放射鲕、偏心鲕
(低能)、同心鲕(高能)



鲕粒的原生类型

1—正常鲕；2—表皮鲕；3—复鲕；4—假鲕



鲕粒成因：

- **有机成因说**：与藻类及细菌作用有关。
- **无机成因说**：在碳酸盐过饱和且扰动的环境中，溶液中析出的钙（文石）围绕被搅起的质点而沉淀。

卡洛兹 (Carozzi, 1960) 认为：鲕粒的形成受控于两个因素：

搅动强度 (a)、水流强度 (c)

(1) $a > c$

◆ $a \gg c$  全为正常鲕

◆ $a \approx c$  全部成鲕，且有表皮鲕存在

鲕粒（多为表皮鲕）的最大核心为 c ，最大鲕粒（表皮鲕和正常鲕）都一样为 a



$$(2) c_{\text{mix}} < a < c_{\text{max}}$$

鲕粒和非鲕粒都存在，最大的非鲕粒为 c ，最大的鲕粒为 a 。

$$(3) a < c_{\text{mix}}$$

没有鲕粒形成。



卡洛兹的理论可以解释以下事实：

- (1) 同一标本中鲕粒的最大粒径近似一致
- (2) 与鲕粒共生的内碎屑（假鲕）比鲕粒的粒径大
- (3) 即使鲕粒的核心为长形颗粒，但所形成的鲕粒外形却总是趋于球形
- (4) 鲕粒的内核大小可以有很大差别，但所形成的鲕粒大小近于等大
- (5) 表皮鲕通常与正常鲕等大或略小

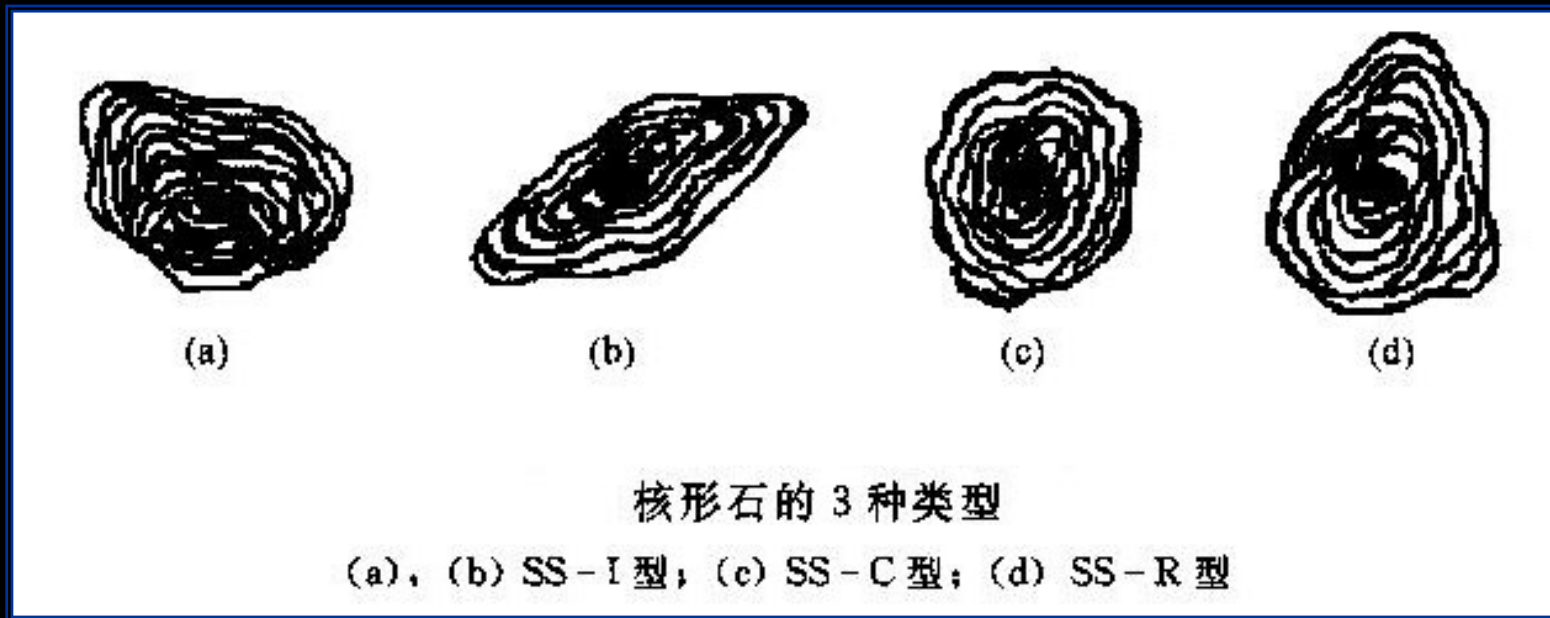
3.藻粒

(1) 藻包粒

藻包粒：大小不等、外形不规则的球形颗粒。

藻包粒与鲕粒的区别： $>2\text{mm}$ ；同心壳层不规则（弯曲、皱纹、波状）、宽窄不一、不连续；壳层富含有机质，为藻类纹层（**富藻与富屑层构成纹层构造**）；形成机理不同。

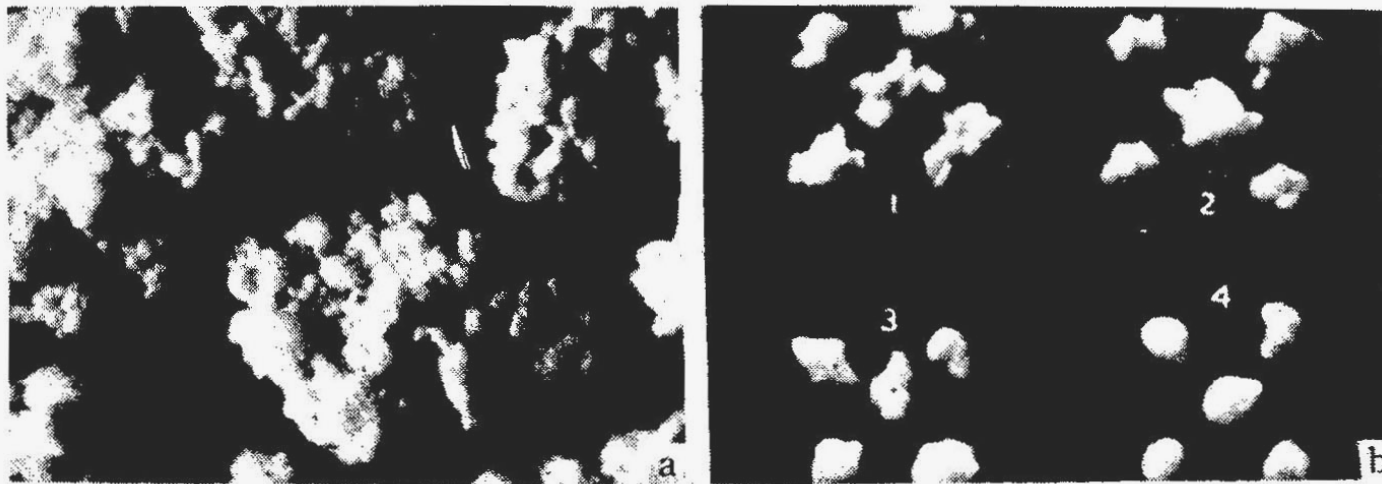
核形石：也称**藻灰结核**，为**球状叠层石**，
粒径小者为0.2~0.3mm，大者2~5mm或更大。



核形石的形成：蓝绿藻的粘液，围绕一定的核心（碳酸盐岩颗粒或碎屑），一边粘结碳酸盐沉积物，一边又受水动力的搬运，或悬浮或滚动，从而形成不规则的同心增长层。

(2) 团块及凝聚颗粒

又称**葡萄状颗粒**或**巴哈马石**，为外形不规则的复合颗粒集合体， $>2\text{mm}$ 。

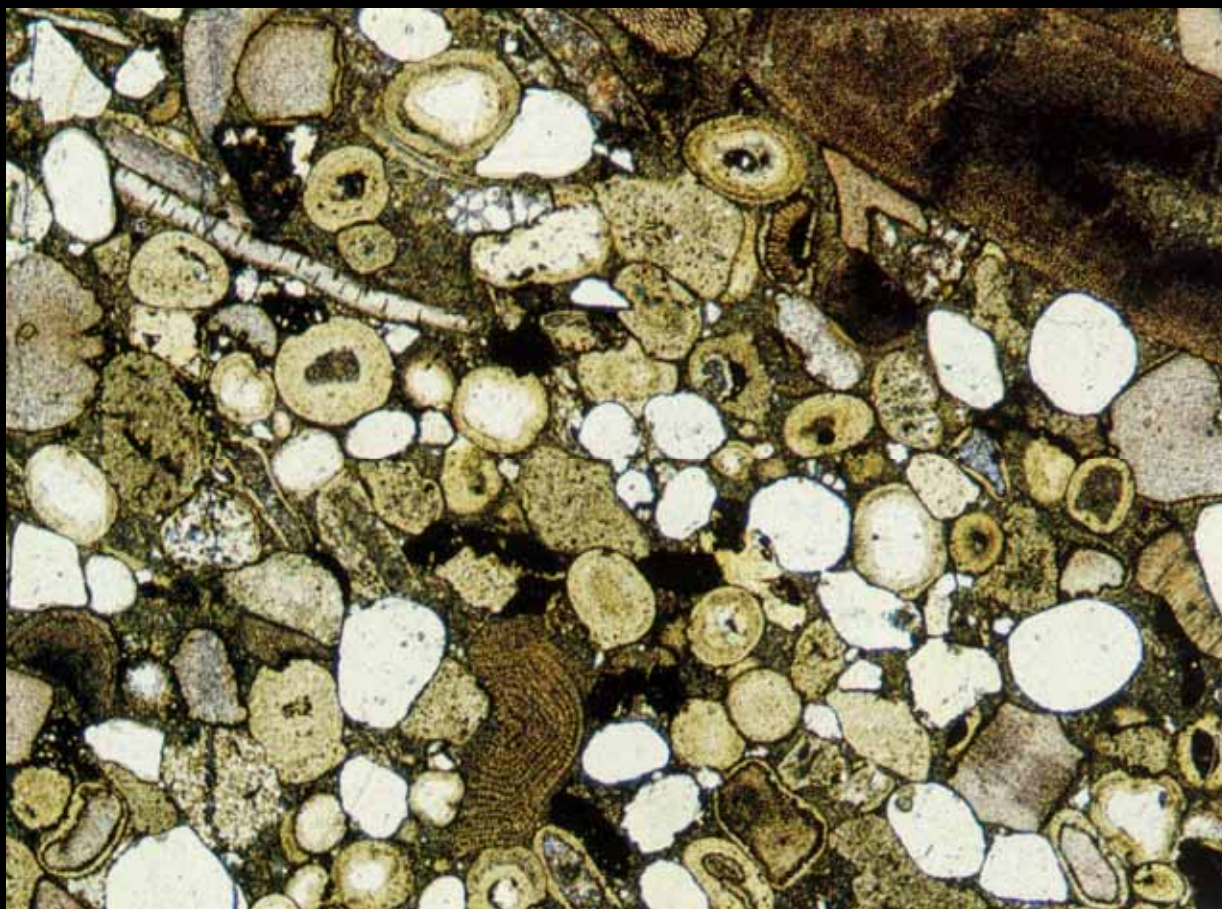


巴哈马地区的现代“葡萄石”

a—形态不规则的“葡萄石”，尚未经磨蚀。放大 10 倍。b—图中的 1, 2, 3, 4 代表其形成的各个阶段（从开始阶段到最后阶段）的形态特征。在开始阶段，形状不规则，似葡萄，故名“葡萄石”。后来，经过磨蚀，就逐渐变成圆度很好的颗粒了。放大 10 倍。（据伊林，Illing, 1954）

4.球粒

球粒：由微晶碳酸盐矿物组成的不具内部构造的、表面光滑的球形或卵形颗粒。一般0.1~0.03mm，少数0.5~0.7mm。



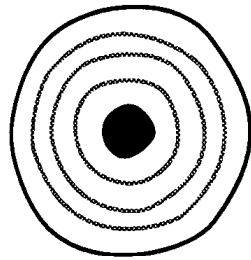


球粒成因观点：

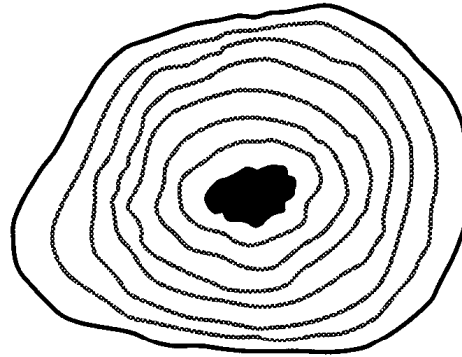
- 无机凝聚
- 生物凝聚
- 无脊椎动物粪粒

从现有资料看至少有三种成因：

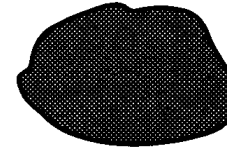
- 藻球粒：碳酸盐岩泥晶（微晶）由细菌、有机质、藻类凝聚、加积、滚动所成
- 粪球粒：无脊椎动物吃进碳酸盐软泥后排泄物
- 假球粒：机械磨圆且已固结的灰泥颗粒、泥晶化颗粒。



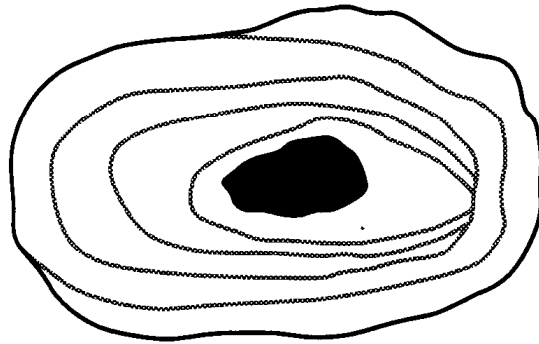
Ooid
(< 2 mm)



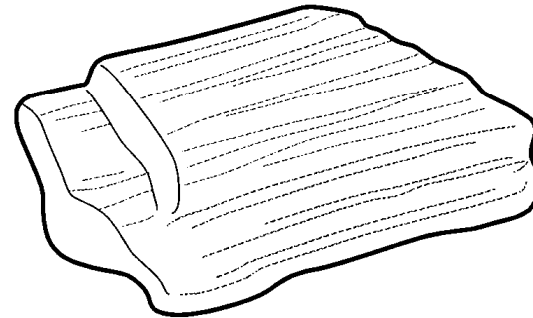
Pisoid
(> 2 mm)



Peloid
(< 1 mm)



Oncoid
(> 2 mm)



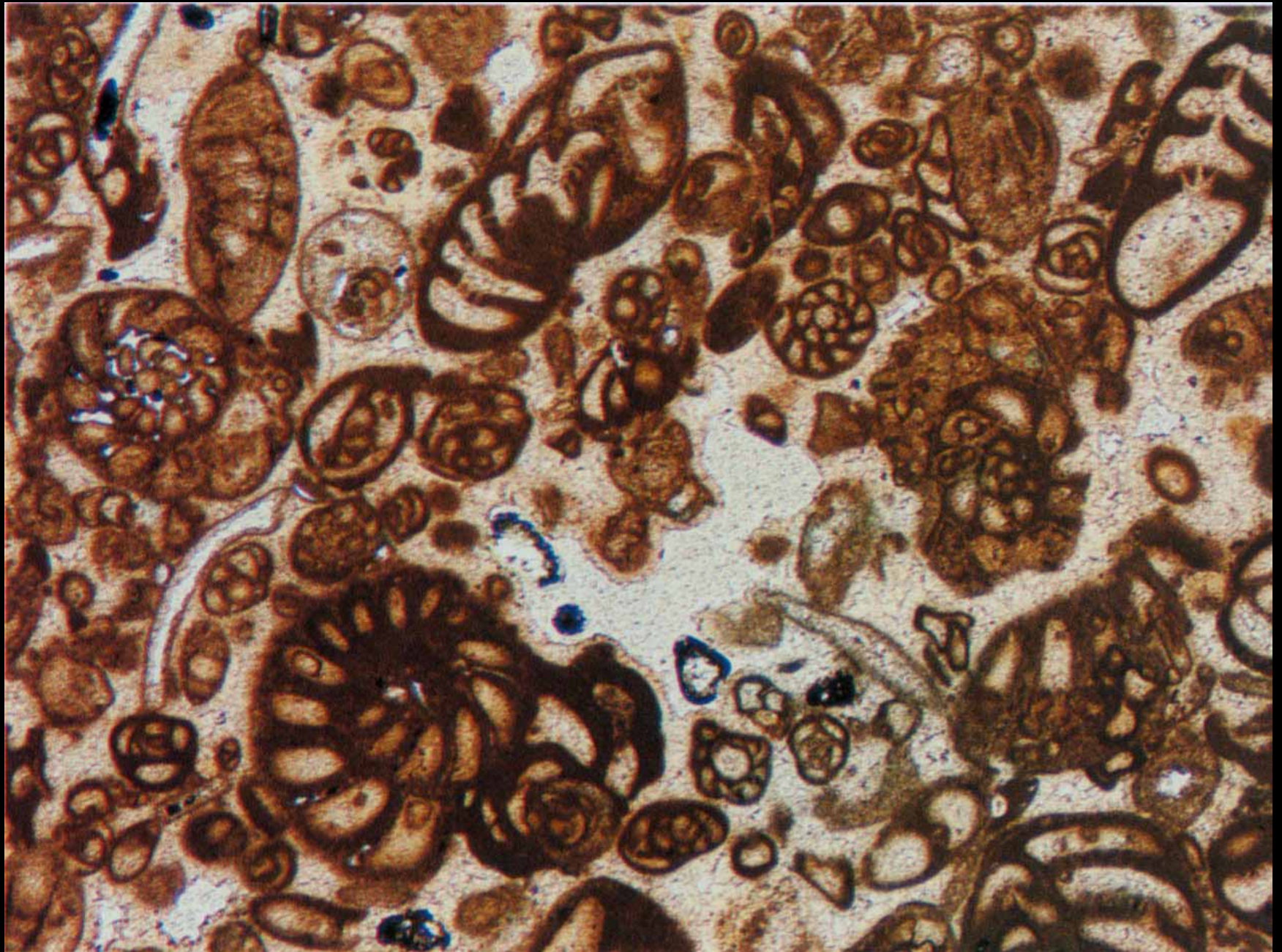
Intraclasts

Ooid - 鲕粒, Pisoid - 藻粒, Peloid—球粒,
Oncoid—似核形石, Intraclast—内碎屑

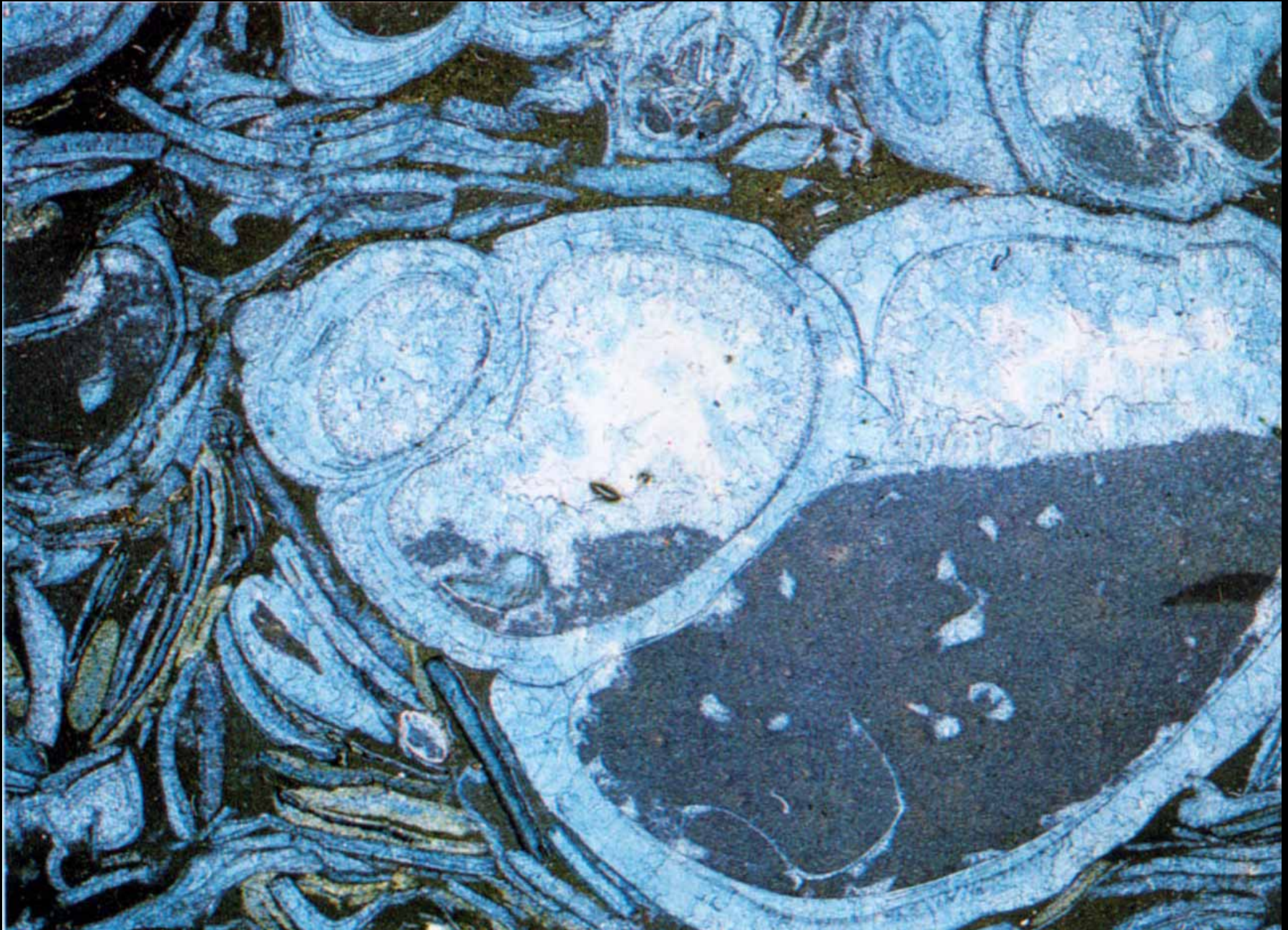
5. 生物碎屑

分级：自形，半自形，砂砾级他形，化石碎片









(二) 泥 (muds)

碳酸盐泥：指泥级的碳酸盐质点，“微晶碳酸盐泥”、“微晶”、“泥晶”、“泥屑”。

分类：

- 灰泥——方解石成分的泥，“微晶方解石泥”
- 云泥——白云石成分的泥

成因：

- (1) 海水化学沉淀作用生成的——针状文石
- (2) 机械破碎磨蚀
- (3) 生物作用生成的：在活的钙质藻中含大量针状文石，死后分离出文石针泥
- (4) 生物磨蚀：吃下碳酸盐颗粒并消化磨碎



(三) 胶结物 (cements)

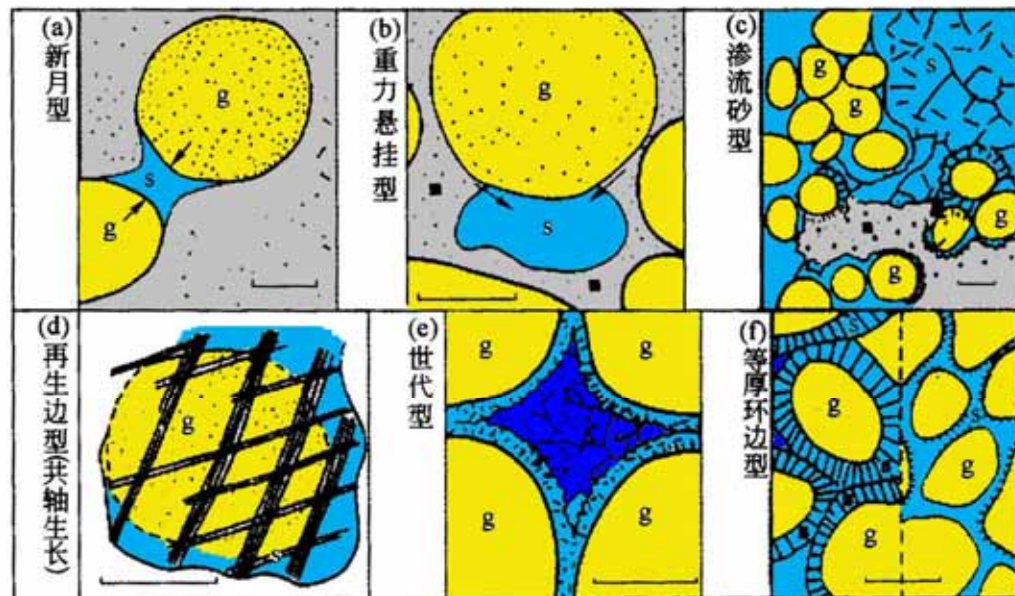
胶结物：充填于碳酸盐岩原始粒间起胶结作用的化学沉淀物，通常是方解石，还有白云石、石膏等。

特点：

- 晶粒一般比灰泥粗大， $>0.005\text{mm}$ 或 $>0.01\text{mm}$ ；
- 由于晶体清澈明亮，常称作“亮晶胶结物”、“亮晶”。

形成环境：

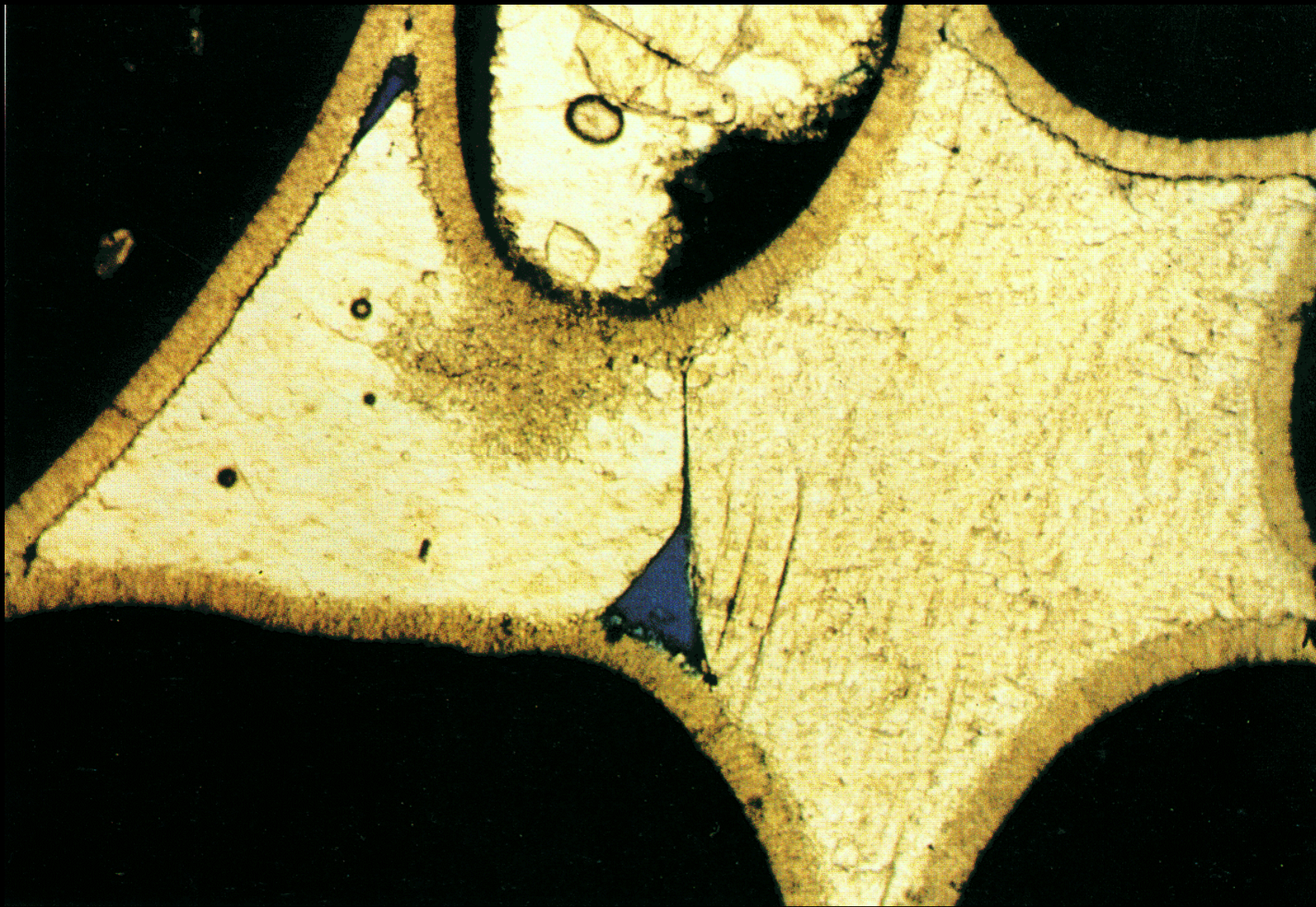
强水动力条件下，原始细粒沉积物被冲走，成岩期粒间孔内以化学方式沉淀出的方解石。



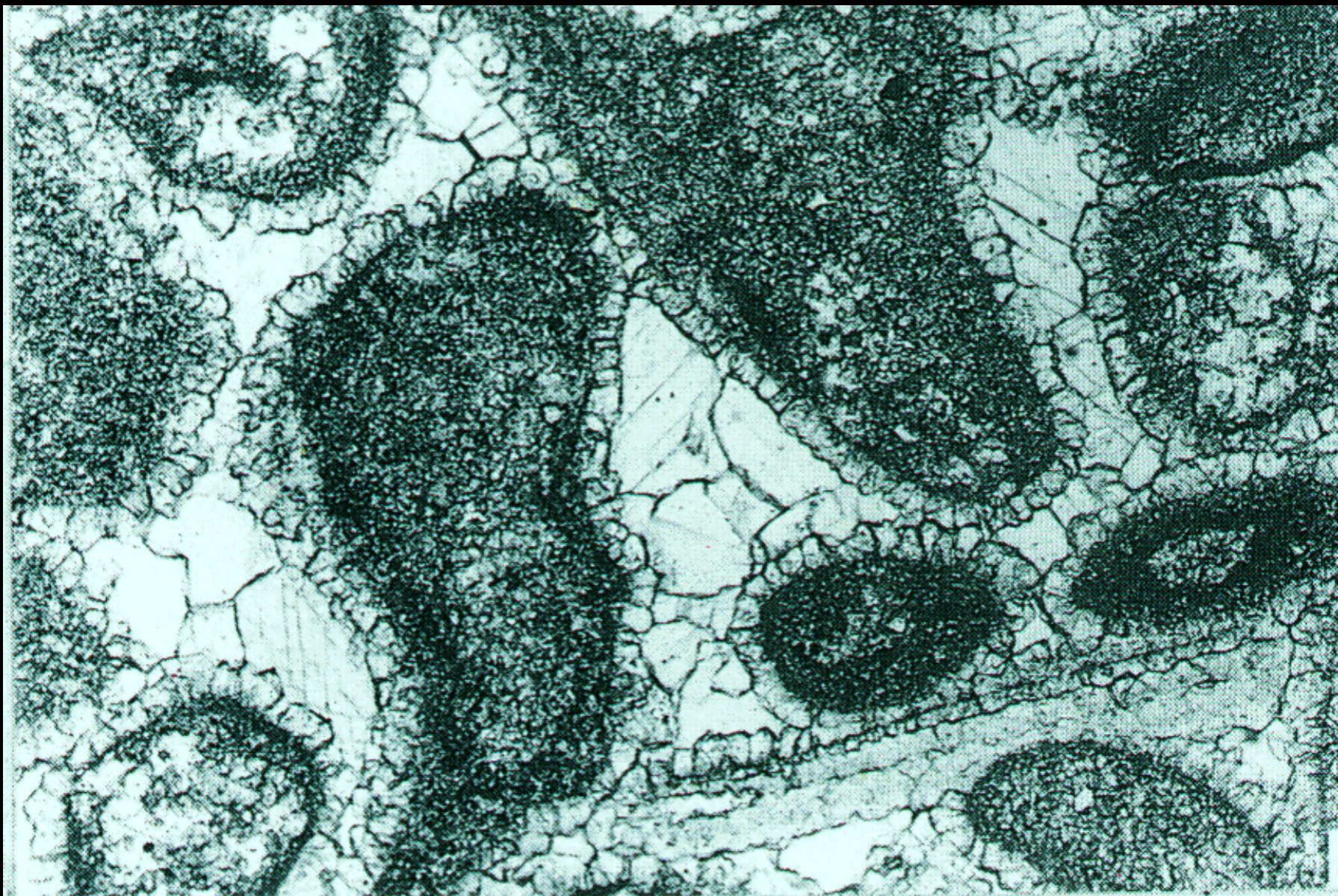
亮晶结构物的几种类型（据孟祥化，1983，略有修改）

g—颗粒组分；s—亮晶胶结物；m—泥晶基质。再生边型中的g为海百合单晶，点线边缘为其单晶化石轮廓；渗流砂型中的m为泥、粉屑渗流充填物，上部s为亮晶；世代型中s₁为第一代亮晶，s₂为第二代亮晶
图中的标尺长为0.5mm

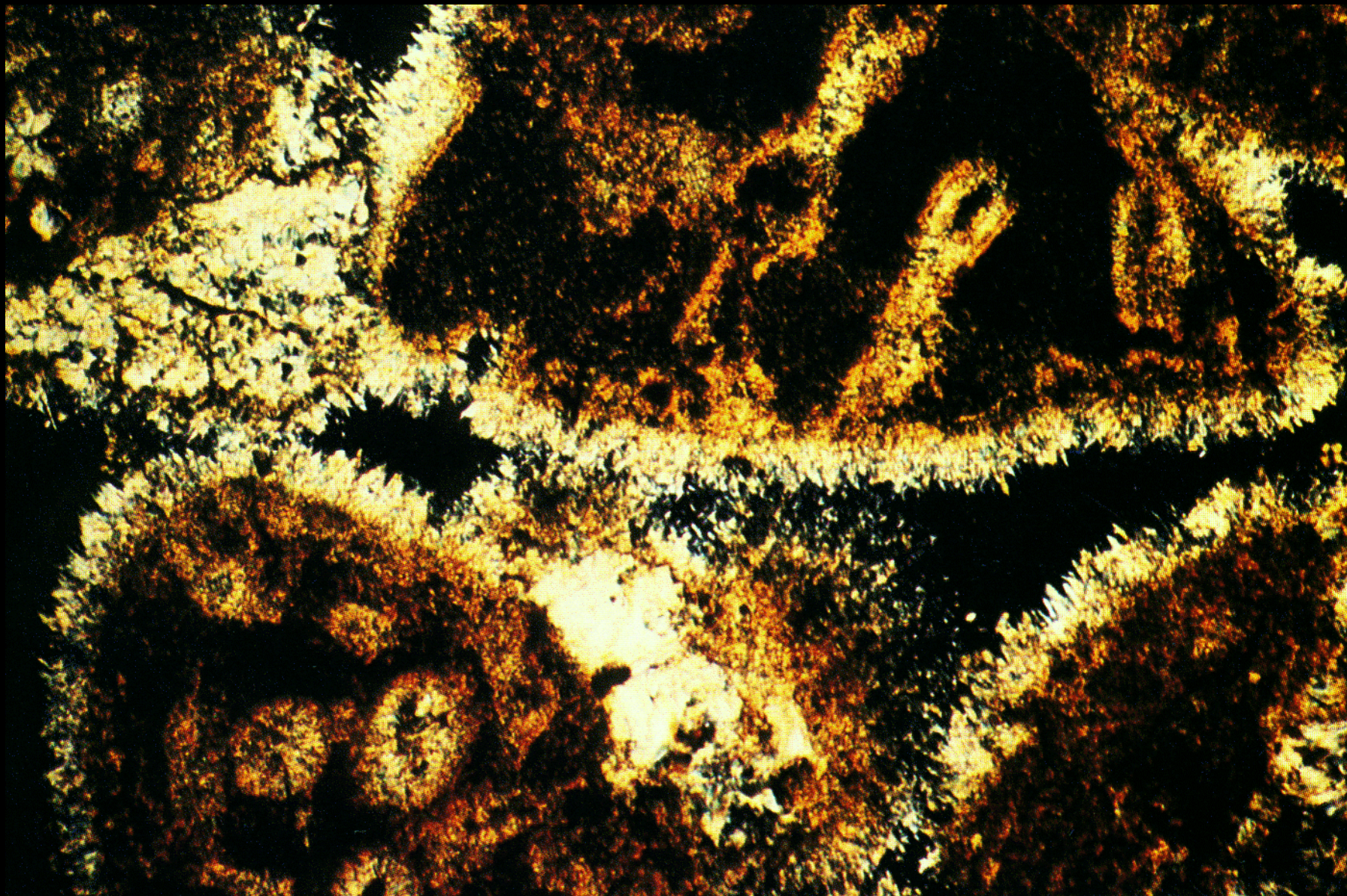
- 粒状亮晶胶结物
- 新月型亮晶胶结物
- 重力型亮晶胶结物
- 渗流砂型亮晶胶结物
- 再生边型亮晶胶结物
- 世代型亮晶胶结物
- 等厚环边片状亮晶胶结物



渗流砂型亮晶胶结物



世代型亮晶胶结物

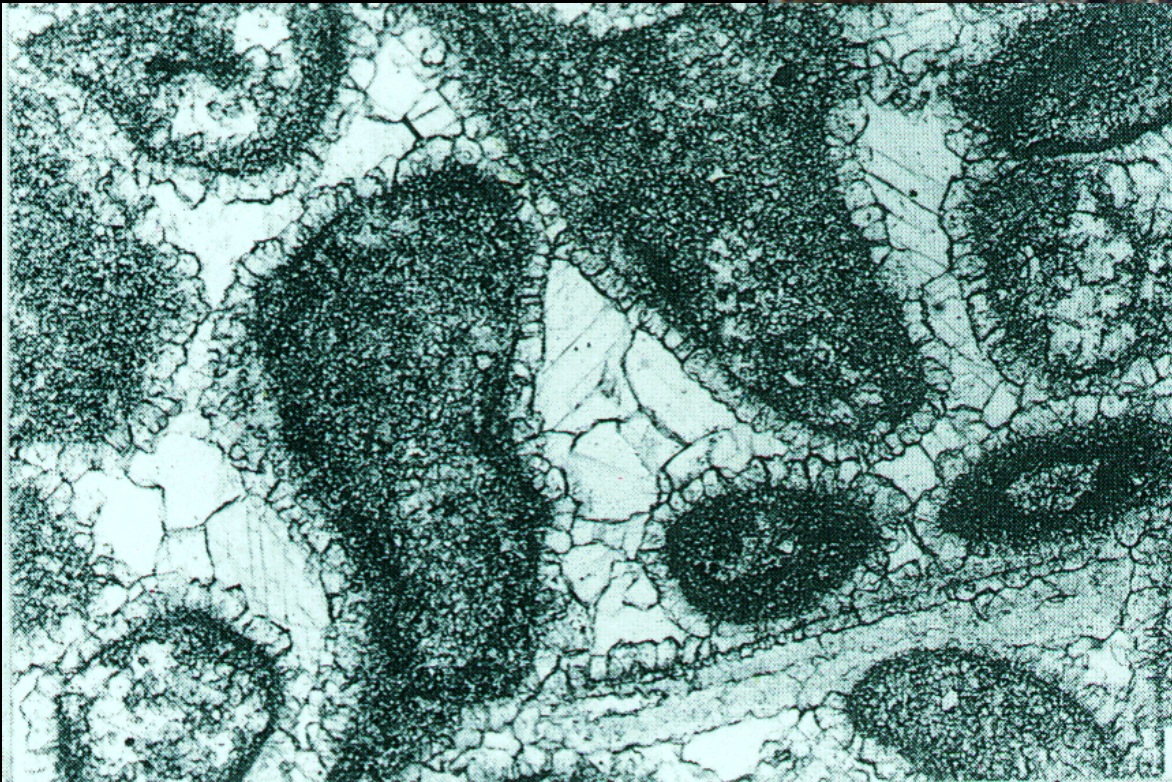
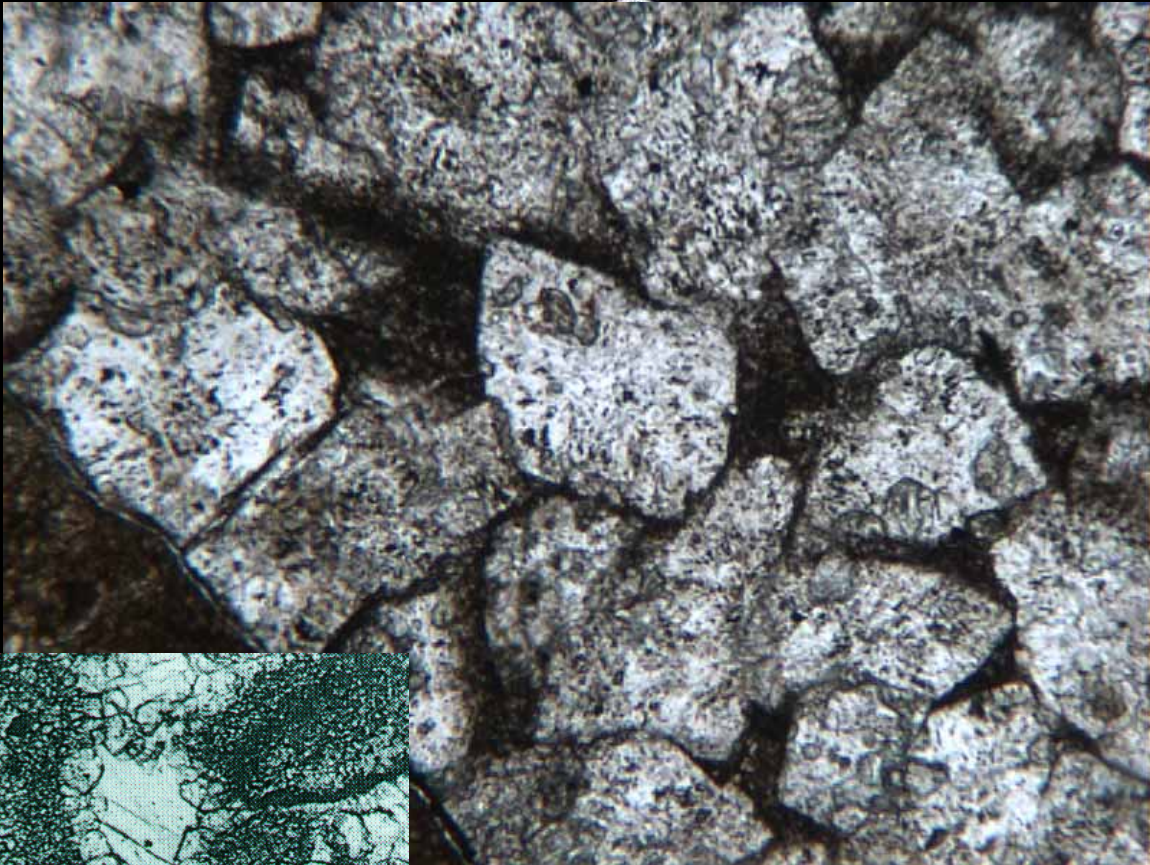
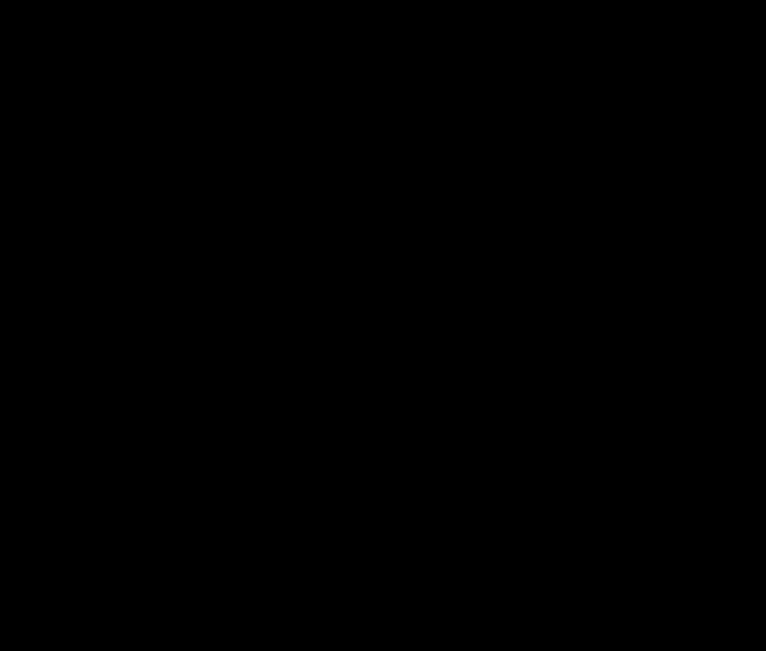


等厚环边状亮晶胶结物



碳酸盐岩中胶结物与泥晶重结晶的区别：

- (1) 胶结物存在于分选、磨圆较好，颗粒彼此相接触的孔隙内（即颗粒支撑的孔隙内）
- (2) 胶结物矿物晶体清澈透明，通常不含杂质
- (3) 胶结物可与泥晶组成的颗粒共存，但不与发生重结晶的泥晶基质共存
- (4) 胶结物与颗粒之间的接触界线较分明
- (5) 胶结物通常表现为世代胶结，或为新月型、重力悬挂型、渗流砂型、再生边型
- (6) 胶结物晶间界面为平直的贴面结合关系



(四) 晶粒 (crystal grain)

晶粒是晶粒碳酸盐岩 (结晶碳酸盐岩) 的主要结构组分。

碳酸盐岩晶粒粒级的划分

晶粒	砾晶	砂 晶					粉 晶		泥晶
		极粗晶	粗晶	中晶	细晶	极细晶	粗粉晶	细粉晶	
粒级 /mm	2.0	1.0	0.5	0.25	0.1	0.05	0.01	0.005	

按晶形特征：自形晶、半自形晶、他形晶

按相对大小：斑晶、包含晶

(五) 生物格架 (organic framework)

生物格架是原地生长的群体生物（如珊瑚、苔藓、海绵、层孔虫等）以其坚硬的钙质骨骼所形成的骨骼格架。

粘结格架：一些藻类（如蓝藻和红藻）的粘液粘结其他碳酸盐组分（灰泥、颗粒、生物碎屑等）形成的一种生物格架。





(六) 孔隙 (holes)

原生孔隙：主要形成于沉积作用阶段

- **粒间孔隙**：由沉积时的颗粒支撑构成
- **遮蔽孔隙**：沉积时较大颗粒遮挡在其下的孔隙
- **体腔孔隙**：生物软体腐烂后留下的孔隙
- **生物格架孔隙**：造礁生物筑造的格架中的孔隙
- **鸟眼及干缩孔隙**：未充填的鸟眼构造、干裂缝
- **窗格和层状空洞**：藻纹层中蓝藻层腐烂或干缩
- **重力滑动破碎形成的孔隙**：固结或半固结的碳酸盐岩软泥滑动所致

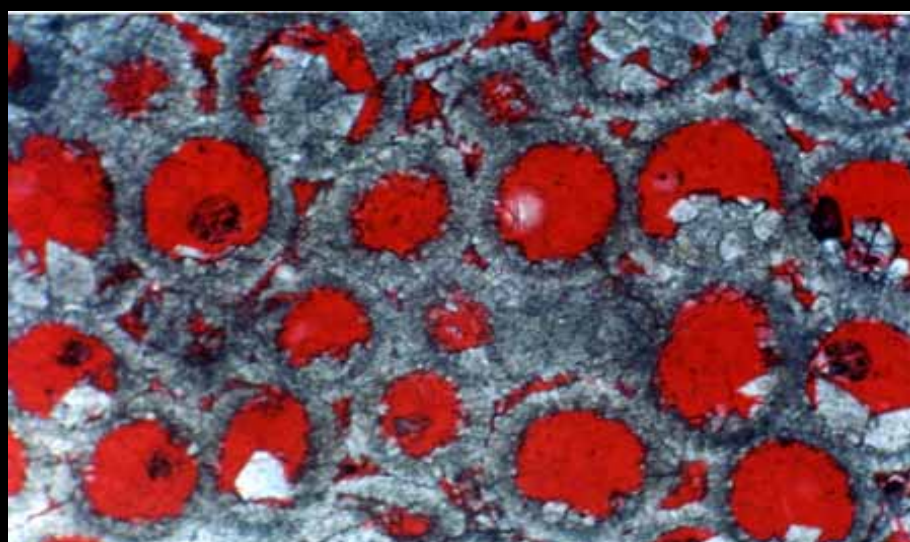
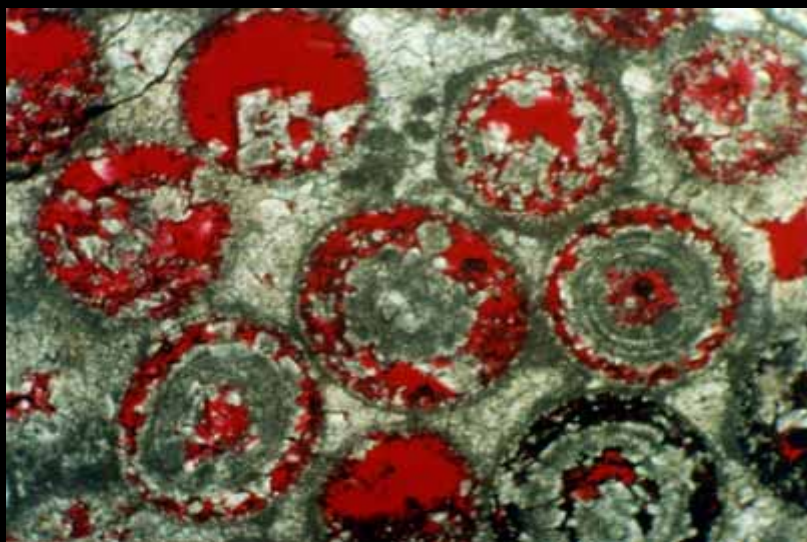
次生孔隙：主要由成岩及后生阶段组构溶蚀而成

● **粒内溶孔**：颗粒内部遭受溶蚀

● **铸模孔（溶模孔）**：选择性溶蚀掉原生的颗粒或晶粒但保留其晶形








● **晶间孔隙**：组成碳酸盐岩矿物晶粒之间的孔隙

● **其他溶蚀孔隙**：原生粒间孔改造、溶孔、溶洞、溶缝、缝合面等。

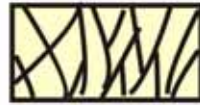





基本孔隙类型

组构选择性

	粒间孔隙	Bp
	粒内孔隙	WP
	晶间孔隙	BC
	铸模孔隙	MO
	窗格状孔隙	FE
	遮蔽孔隙	SH
	生长格架孔隙	GF

非组构选择性

	裂隙	FR
	沟	CH
	洞	VUG
	孔	GV

有组构选择性或无

	角砾状 孔隙BR		生物穿孔 BO		虫孔 BU	
---	-------------	---	------------	--	----------	---

四、碳酸盐岩的构造 (Structures of carbonate rocks)

碳酸盐岩的构造十分多样，几乎具有全部沉积的构造类型。

此外，碳酸盐岩还有一些独有的构造类型，如叠层构造、鸟眼构造、示底构造、缝合线构造等。

内容在第三章已讲过，不再重复。

五、碳酸盐岩的颜色 (Colors of carbonate rocks)

内容在第三章讲过，不再重复。





决定因素

主要矿物及次要矿物的相对含量

颗粒、晶粒以及基质的粒度

色素及有机碳的影响

风化作用



与沉积环境的关系

浅水低能环境中生成的碳酸盐岩，多呈中灰色。

停滞缺氧的深水盆地—出现暗灰、灰黑色、黑色的碳酸盐岩。

红色类—高价铁氧化物引起的，氧化环境。



六、碳酸盐岩的研究方法

(Research methods of carbonate rocks)

(一) 野外研究方法

1. 岩类学的研究

酸蚀法：用稀盐酸（1:7或5%）鉴别

2. 古生物学的研究

3. 地层学的研究

4. 沉积环境及岩相古地理学的研究

5. 油气生储盖有利层段及地区的判断

6. 采样



(二) 室内研究方法

1. 薄片法

2. 揭片法 (揭片法 , 印膜法)

3. 酸蚀法

4. 染色法 茜素红+HCl

● 方解石、文石、高镁方解石、毒重石—深红色

● 铁白云石、菱锶矿、含铁白云石—紫色

● 白云石、(硬)石膏、菱铁矿、菱锰矿、菱镁矿—无色



5. 全样品的难溶组分分离法

6. 化学分析法

7. 差热分析法

8. 热重分析法

9. 热发光法

10. 电子显微镜法

11. X射线衍射法

12. 同位素法

13. 放射性碳测定年龄法

14. 其他方法



本节要点：

- 碳酸盐岩的概念
- 碳酸盐岩的矿物成分和化学成分
- 碳酸盐岩的成分分类及命名
- 碳酸盐岩的结构组分（重点）
- 碳酸盐岩颗粒类型（重点）
- 内碎屑和鲕粒的形成（重点）
- 碳酸盐岩的沉积构造