

鲕粒的结构变化与成岩作用 性质和强度的关系

王英华 杨承运 张秀莲

(北京大学地质系)

成岩作用是沉积物转化为变质岩之前的一系列重要作用的总合,成岩作用的性质和强度控制了岩石的总特征,因而研究成岩作用具有重要的理论和实际意义。关于成岩作用的定义和成岩阶段的划分等问题,多年来存在着很大的分歧。综合国内外常见术语和划分方案可将成岩作用划分为同生和准同生作用、成岩作用、后生作用和表生作用等五个阶段。通过岩石的组构类型和某些颗粒的结构特征及变化研究成岩作用,不失为一种常用而有效的方法。

碳酸盐岩中的鲕粒不仅是碳酸盐岩中常见的颗粒之一,而且有指相意义。粒度不一、内部结构各异的鲕均为不同环境的产物。通过对不同时代碳酸盐岩中鲕粒的研究发现,鲕粒结构的变化,如破裂、变形、重结晶、白云石化等均与成岩作用的性质和强度有关,故鲕粒结构的变化可作为成岩作用性质和强度的标志,并用以区分成岩阶段。

一、鲕粒的破裂和变形

鲕的破裂、变形早有人做过研究,并分为:包壳破裂或断开,鲕体塑性破裂和鲕体硬化破裂等几种类型(Carozzi, 1961)。但鲕粒变形或破裂的程度和类型与成岩作用强度之间的关系远未阐明。现将破裂变形鲕按其经受成岩以至后生作用的顺序和强度依次简述如下。

1) **破碎鲕** 主要形成于同生阶段。鲕粒破碎程度不一,破裂端无定向排列并有磨蚀现象,鲕碎屑无从拼合,多孤立分布于岩石中。此类破碎鲕经常与完整鲕粒共生,是在较浅的强动荡水流条件下,经鲕粒互相撞击而形成,故多被亮晶胶结(图版 I, 1)。

2) **断壳鲕** 在成岩早期,压实作用使部分鲕粒(特别是粒径较大者)变成椭圆形或包壳被压破。但由于上覆压力不大,压实作用不强,故一般仍保持鲕粒外形,外壳亦基本连续(图版 I, 2)。断破情况与鲕粒本身的结构有关,泥晶套较厚的表鲕包壳易于断裂;正常鲕则易于产生明显的向内推移,推移端多因受压而趋于扁平,并易于破裂(图版 I, 3)。鲕的变形或断裂与鲕粒成份有一定的关系,以石英屑为核由胶磷矿组成的包壳(磷质鲕)在成岩作用初期的压实作用下,包壳沿同心圈方向产生张性裂隙。具塑性的绿泥石鲕则多呈次椭圆形,其十字消光现象亦随之呈不对称状态。

3) **塑变破裂鲕、错裂鲕** 在沉积物渐次加厚、上覆压力不断加大的情况下,鲕的

破裂不仅限于包壳部分,并可深达鲕核附近,以致引起鲕粒全部裂开(图版 I, 4 a)。它是塑性破裂的典型,可能形成于成岩早期鲕粒硬化程度很低的情况下。有些变形鲕的裂开似乎与淡水方解石的结晶方位有关:当上覆压力方向与方解石的解理方向成较小的角度时,则这样的多晶鲕易成破裂鲕(图版 I, 4 b),变晶鲕还可沿其单晶的适宜方位或多晶的某一接合面错裂成为错裂鲕,错裂距离与压实强度有关。

各类变形鲕个体完整,轮廓清晰,应属成岩初期或早期压实作用较弱的条件下形成的轻微变形鲕,长轴方向多平行于层理。

4) **异形鲕** 这是一种变形较强裂的鲕。在较强的压实作用下,鲕粒破裂、分离、变形,甚至失去原有形态而呈蝌蚪状、链状、飘带状等,故仅可据其残存的结构和共生关系辨认或推测原始结构。次强变化者也使鲕粒变形、分离,但仍能根据其对应的轮廓拼合(图版 I, 5)。这种变形鲕除反应颗粒埋藏迅速、持续遭受压力外,根据其仍保留着清晰的原始内部结构以及很少遭受白云石化、硅化、重结晶等现象,可认为其形成时间稍晚于成岩早期,而为成岩晚期阶段产物。

5) **内错鲕** 在鲕粒已基本硬化、上覆压力又相当大的情况下,鲕粒不仅在垂直应力方向被压扁而略呈椭圆,内部也相应产生齿状咬合的放射状结合纹。后生白云石常沿这种结合纹分布,从而使结合纹更为醒目,可称之为内错齿状放射鲕(图版 I, 6)。有时在压应力作用下,不但鲕粒内部的方解石晶粒发生严重弯曲,淀晶胶结物部分亦然。这是鲕体被胶结成岩后上覆压力作用的结果,它可能形成于成岩晚期或后生作用初期阶段。

6) **后生破裂鲕(豆)** 在后生作用阶段的早期,由于较强的压实作用和压溶作用的影响,鲕、豆强烈破裂。初期个体完整,但破裂缝较为明显,被铁泥质不溶物充填(图版 I, 7)随后分离碎裂为残缺的鲕、豆。变晶鲕,特别是多晶鲕最易发生此种破裂变化,并形成初期不连续的缝合构造。后生破裂鲕及其胶结物常具一定程度的重结晶作用,并伴有白云石化等交代作用,其内部原始结构一般不易恢复。

综上所述,各类破裂变形鲕(豆)粒的形态及组合特征、内部结构的变化、重结晶程度和交代作用强度等均与成岩作用的性质和强度密切相关,故这些特征可做为划分成岩后生阶段的标志(图 1)。

二、缝合线构造

缝合线构造是压溶作用的一个重要标志。H.布拉特等人(Harvey Blatt et al, 1972)认为,在地下深处的环境中,碳酸盐岩的主要成岩作用似乎就是压溶作用,除此很少有其它大规模的成岩作用发生。胶结物的来源与压溶作用相关,压溶作用发育的岩石中胶结作用较明显,相反,由于胶结物供给不足而粒内孔发育的岩石一般无明显的压溶现象。缝合构造在成岩作用初期即已发生,但最有利的形成时间则可能是在第二世代胶结物形成之前。

就与鲕粒相关的缝合线而言,按照帕克等人(W.C.Park and E.H.Schot, 1968)的分类,多以小型和微形为主。其形态可有波状、缝合状、尖峰状和地震波状等。其产状则有水平、倾斜和垂直于层理之分。小型水平缝合线形成于成岩早期;垂直

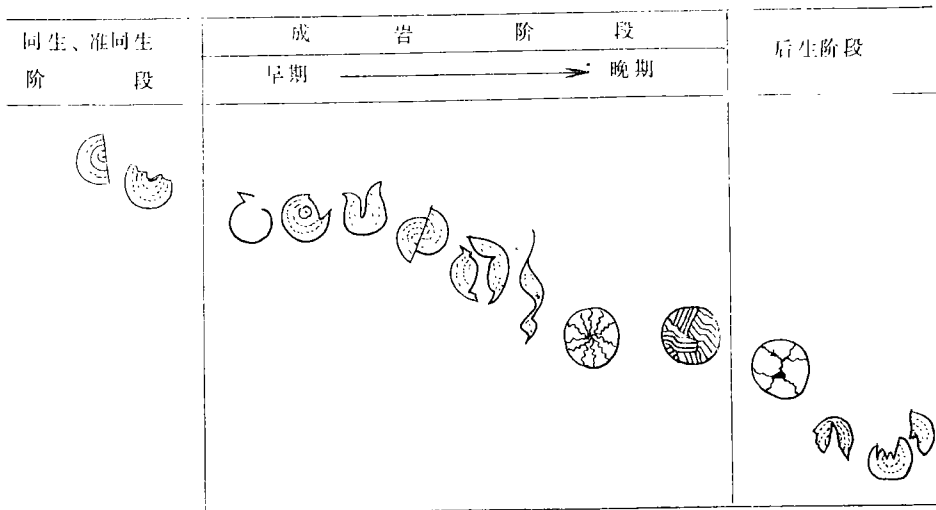


图 1 破裂变形鲕的形成阶段

Figure 1 The formation stage of split deformed oolites

缝合线则多在后生作用阶段生成。根据缝合线的连续性及其对鲕粒的破坏程度，即鲕粒在缝合线附近的破坏或保留情况，可将缝合线初步分类并与成岩作用相联系。

1) 不连续或微连续的微型水平波状缝合线 此类缝合线平缓，幅度为 1 mm 左右，多断续或微相连，并多沿鲕粒边部发育而不破坏鲕粒。当有铁泥质不溶物充填时，更为明显（图版 I，4）。此外，在岩石中经常可以看到不连续的缝合线常绕长轴方向排列一致的扁圆形鲕发育，这种变形很难认为是缝合线产生前压实的结果。因为压实和压溶是经常伴生而难以严格区分的，因此我们认为，压溶作用早在成岩早期就已发生，微型缝合线亦可能随之形成。

2) 连续的小型水平或倾斜缝合状缝合线 连续延伸，幅度较大，一般为 2 mm—5 mm。它经常穿切鲕粒或引起鲕粒破碎变形，并使鲕粒部分被溶而残留铁泥不溶物质。在以鲕粒为主的岩石中，缝合线多呈切穿鲕的锯齿状缝合接触（图版 I，8）。并可依此计算在缝合线形成时岩层损失厚度的下限值（图 2）。

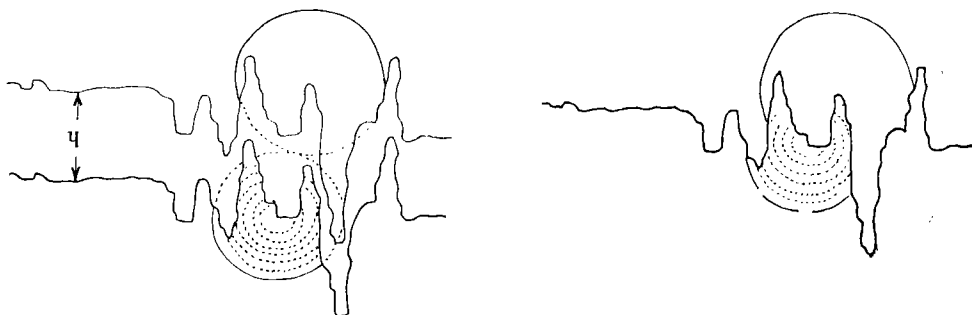


图 2 据溶蚀鲕粒的复原求算岩溶损失的厚度

Figure 2 Calculation of the diminished thickness caused by corrosion based on the restoration of corroded oolites under a microscope

此种缝合线多沿不连续的微型缝合线继续发育并切割填隙物，故应形成于胶结作用结束之后的成岩作用晚期或后生阶段早期。

3) **连续的小型水平尖峰型或垂直地震波型缝合线** 此类缝合线的特征是被切过的鲕粒或全部溶掉，或残余无几，并在鲕粒的空隙处填充以铁泥质不溶物，有的可保留鲕粒的外形，有时（特别是地震波型）沿缝合线的鲕粒全部变形，成为首尾相接的蝌蚪状，并有明显的后生白云石化（图版 I，1）。

三、压力影

碳酸盐岩中鲕粒形成的压力影，目前尚无报道。鲕粒的对称外形使其对于应力作用必然十分敏感，鲕粒的压力影是压溶作用的标志，并可用以阐明压溶作用的机理。在上覆静压条件下，鲕粒向垂直应力场的方向延伸，成扁圆形，使相邻鲕粒呈锯齿状的压溶缝合接触，其二侧为低压沉淀区，并形成压力影（I，2d、5d）。压力影由丝状或细柱状方解石构成，近鲕处多为细柱状方解石垂直鲕壳表面生长，远端部分则由丝状方解石排布成箭羽状（图3）。

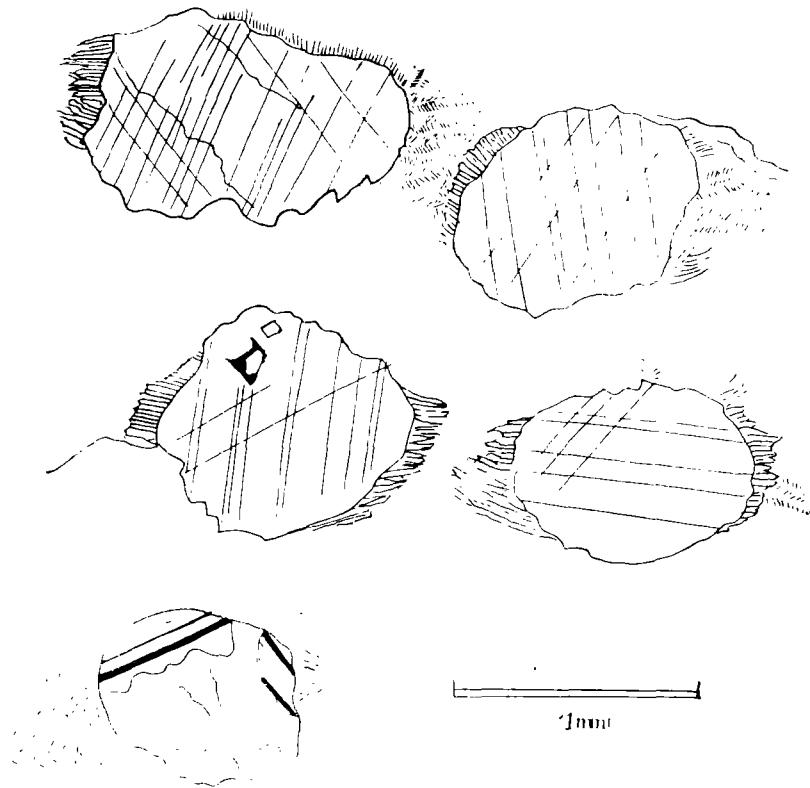


图3 鲕粒两侧压力影镜下素描

Figure 3 The two lateral pressure shadows of oolites under a microscope

发育完好的压力影表明它生成于应力较强的条件下。但即使在同一薄片中也并非全

部鲕粒都有完整的压力影。有时鲕的二侧只有细柱状或丝状方解石发育；有时鲕体一侧为细柱状方解石，一侧为丝状方解石，这可能与鲕粒结构、相对于应力场的方位以及与邻近鲕粒的空间关系等因素有关。因此变晶鲕，尤其是单晶鲕，多数形成完整清晰的压力影，正常鲕二侧虽有时亦有发育但不典型。

按照王嘉荫的分类，此种压力影似属于斜方对称的压力影，是在压性应力作用下形成的。因此，发育完好的压力影当形成于固结成岩后的后生作用阶段，但在成岩晚期，压力影可能伴随略有塑变的鲕的硬化而产生。

综上所述，可把压溶作用下的缝合线和压力影的阶段分析图示如下（图 4）。


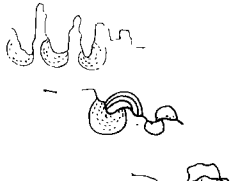
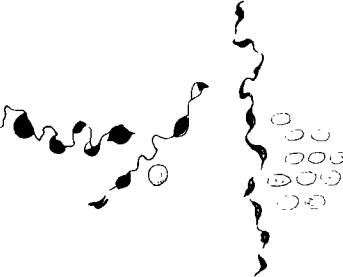


| | 早期成岩阶段 | 晚期成岩阶段 | 后生阶段 |
|-------|---|---|---|
| 缝合线构造 |  |  |  |
| 压力影 | |  |  |

图 4 压溶及压力影现象的阶段

Figure 4 The stage of pressure solution and pressure shadow

四、重 结 晶

在研究鲕粒在成岩各阶段中湿重结晶作用下的性状及其演化特点时，并考虑到胶结物在成岩作用下的重结晶及其与鲕粒重结晶程度的关系时，能以鲕粒重结晶的程度、变化、控制因素等特点来判别成岩后生作用的阶段，为此可将重结晶的鲕粒初步列为以下几种类型。

1) 准同生微晶鲕 准同生阶段即已有重结晶，其特点是重结晶程度很低，晶粒细而少，并仅分布在鲕内的某些部位，因此鲕粒的结构未受破坏，泥晶基质或亮晶胶结物一般无重结晶现象。

2) 初晶鲕 成岩早期开始重结晶，晶体常沿同心圈或放射分布，鲕粒的结构基本完整，有时由于重结晶晶粒的排布，反而使鲕粒的内部结构更为显豁。泥晶基质可随之略有重结晶，如存在亮晶胶结物，则多不重结晶。重结晶方解石晶体污浊，同时常伴有

泥晶斑块(图版 I, 3)。

3)射轮鲕 晚期成岩阶段鲕内重结晶的晶粒沿放射线或同心圈方向呈放射状或轮辐状排布。鲕粒的原始结构已多遭破坏,但仍可藉残余结构加以辨认。一般来说,原生放射射鲕的重结晶程度较同心鲕要好。这可能是因为同心鲕的圈层既可包容一部分水介质在圈层间移动,又对水介质越过圈层有一定的限制作用;而放射状结构则有利于水介质的畅通。

4)壳迹鲕或残余鲕 在成岩作用的最终阶段,鲕粒和泥晶基质的重结晶程度已近一致,从而表明鲕内外的溶液浓度亦趋一致;溶液膜的迁移活动也渐次降低了。特点是:鲕内重结晶的晶粒多已布满,鲕内外的晶粒大小相近,鲕粒的内部结构全部或大部破坏消失。但泥晶套和有机质较丰富的包壳或硅质包壳等则可保留并显示原始内部结构或外部轮廓(图版 I, 2)。

壳迹鲕粒的壳迹清楚程度与泥晶套的厚薄或有机质含量多寡有关,厚而富有机质者似有屏蔽或阻碍重结晶作用的趋向。

5)后生鲕(后生白云质鲕) 后生作用阶段较强,重结晶的残余鲕易于遭受白云石化而常使残余鲕变为白云石晶粒团。选择性白云石化导致泥晶套和富有机质或泥晶方解石的基质继续保存,从而白云质晶粒团大致显示鲕粒的外形(图版 I, 4)。当填隙物和残余鲕具同等程度的白云化时,如白云石粒径相近,则后生鲕的轮廓亦不能保存,但通常可通过鲕内残存的有机质推测鲕粒的存在,但原始结构则不易恢复。

五、白云石化作用阶段的鲕粒特征

白云石化是碳酸盐岩中最常见,分布最广泛的交代作用之一。白云石的交代成因机理的理论建立很长时间了,但交代作用的时间仍不清楚。事实上,白云石的交代作用既可发生在埋藏前的准同生阶段,也可以发生在埋藏后的成岩、后生阶段。因此,可按白云石化的四个阶段把鲕粒白云化的特征做如下描述。

1)准同生白云石化鲕粒 特点是白云石化仅不同程度的限于鲕内并与灰质鲕共生,其胶结物则无白云石化现象(图版 I, 5)。这种鲕粒内的白云石晶形完好,晶粒多细小。白云化程度不同的原因与鲕粒本身的结构或成分有关,泥晶结构的正常鲕粒似较变晶鲕粒更易白云化。白云石化较强的同心鲕粒可见白云石沿同心圈方向排布或仅集中于核心部位,其原始结构基本清晰。变晶鲕粒中的白云石多呈自形晶交代方解石并集中于核部,泥晶套及外层包壳一般不易被白云石化,但白云石化强烈的鲕因内部布满自形白云石而破坏了原始结构(图版 I, 5)。

2)成岩早期白云石化鲕 特点是部分胶结物亦发生白云石化,如为泥晶填隙物则白云石化更为强烈,并呈不均匀分布。鲕内的白云石颗粒细小、晶形完好,多沿同心圈分布,且大多数白云石长对角线与同心圈的切线方向一致。白云石化程度低的鲕粒可保持其原始结构(图版 I, 6a),有时可见白云石沿鲕粒边缘发育,并破坏其外形的现象。

3)成岩晚期的白云石化鲕 由于白云石化一般较为强烈,致使鲕粒的结构及外形破坏殆尽,此时岩石仅可见由白云石组成的瓣状颗粒。有时成岩晚期白云石可产于鲕粒

与胶结物的交界处，晶形完好（图版 I，7）。此外，以白云石为胶结物的鲕粒，不论其内部白云石化程度如何，均应属此类。

4) 后生白云石化鲕 常伴随压溶等作用使鲕白云石化加强，以致强烈破坏其内部结构，但多数仍保留其浑圆外形。缝合线附近的鲕即具此特征（图版 I，8a）。当胶结物强烈白云石化时，鲕可全部白云石化，而仅存稍可辨认的残迹（图版 I，8a）。

值得指出的是白云石化是一个相当复杂的过程，由于每一成岩阶段都可能发生白云石化，所以按变化程度进行成岩阶段的划分是相当勉强的。

六、结 论

综上所述不难看出：

1. 正常鲕多以塑性变形反映成岩早期压实阶段持续的静压作用；变晶鲕则主要以碎裂变形反映短促的应力作用。

2. 变晶鲕对成岩晚期开始并主要发生在后生作用阶段的压溶作用更为敏感，故可作为用压溶强度区分成岩阶段的灵敏颗粒。换言之，多晶鲕灰岩易于在后生作用阶段形成缝合构造，单晶鲕则易于产生压力影。

3. 一般情况下，放射状结构便于重结晶；同心结构则利于白云石化。由此可见鲕粒的原始结构亦是控制重结晶作用的因素之一。

4. 白云石化的问题相当复杂，白云石化程度虽依成岩作用强度而变化，但亦与鲕粒内部结构有关。通常，自易而难的顺序为：正常同心鲕—正常放射鲕—多晶鲕—单晶鲕。

此外，破裂鲕、缝合鲕，甚至射轮鲕、壳迹鲕均易叠加白云石化，从而增加了作用之复杂性。

5. 鲕粒及其填隙物的氧碳同位素组成（ $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ ）随成岩作用强度而变化，故

表 1 不同成岩强度鲕粒岩的氧、碳同位素组成

Table 1 Composition of O and C isotopes of oolites with different diagenetic strength

| 岩石名称 | | 亮晶藻礁灰岩 | 亮泥晶同心 鲕粒灰岩 | 亮晶壳迹 鲕粒灰岩 | 混亮晶残余 鲕灰质云岩 | 亮晶单晶 鲕灰岩 |
|-----------------------|------|------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 样品编号 | | R ₂₋₂ | M ₆ | M ₃₀ | M ₃₀ | M-S |
| 产地及层位 | | 宜昌O ₁ | 秦皇岛E _{2x} | 秦皇岛E _{2ch} | 北京西山E _{2ch} | 北京双石头E _{1m} |
| $\delta^{18}\text{O}$ | SMOW | 22.77 | 20.03 | 20.74 | 17.47 | 15.56 |
| | PDB | -7.50 | -10.17 | -9.48 | -12.65 | -14.50 |
| $\delta^{13}\text{C}$ | | -1.34 | 0.37 | 0.32 | -0.20 | -1.12 |
| 成岩作用特征 | | 成岩早期 | | 成岩晚期 | 后生期 | 表生期 |
| 成岩强度 | | 碎裂、变形、胶结 | 弱重结晶 | 较强重结晶 | 缝合线、后生云化 | 淡水铸模 |
| | | 弱 | | 强 | | 表生作用 |

可用来作为建立上述划分标志的佐证。表2中的数据表明，成岩阶段的不同程度的重结晶鲕灰岩、壳迹鲕灰岩，和后生作用阶段的鲕云岩及表生阶段有大气水参与作用形成的单晶鲕灰岩等均具不同的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 值。

文中图版由薛佳、周春元同志制作，特予致谢。

(收稿日期：1982年5月16日)

参 考 文 献

- [1] 王英华等, (1982) 鲕粒与沉积环境, 地质科学论文集(第一集), 北京大学出版社。
- [2] 王嘉荫, (1978) 应力矿物概论, 地质出版社。
- [3] 罗宾·巴瑟斯特, (1971) 碳酸盐沉积物及其成岩作用, 中国科学院地质研究所译, 科学出版社(1977)。
- [4] 威尔逊, (1975) 地质历史中的碳酸盐相, 冯增昭等译, 科学出版社(1981)。
- [5] Carozzi, A.V., (1975) *Sedimentary Rocks*. Copyright by Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. p 248-288
- [6] Blatt, H., Middleton, G. and Murray, r., (1972) *Origin of Sedimentary Rocks*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey
- [7] Park, W.C. and Schot, E.H., (1968) *Stylolites: Their Nature and Origin*, Jour. Sedim. Petrol. V. 38
- [8] Carozzi, A.V., (1960) *Microscopic Sedimentary Petrography*. Copyright by John and Sons, Inc.

RELATIONSHIP BETWEEN THE CHANGES OF OOIDAL TEXTURE AND THE PROPERTY AND STRENGTH OF DIAGENESIS

Wang Yinghua Yang Chengyun Zhang Xiulian
(*Department of Geology, Peking University*)

Abstract

Oolites are common grains in carbonatites, and their texture changes are important indicators in studying the property and strength of diagenesis. It has been found that splits and deformed oolites formed under compaction, and the sutured texture and the pressure shadow as well as recrystallization and dolomitization formed under pressure solution are related to the property and strength of diagenesis.

Although the degrees of split and deformation of oolites are related to their composition and original internal texture, they are still the indicators of distinguishing diagenetic stages. Split oolites of syngenetic stage are scarcely found in the rocks and they often coexist with complete oolites. Oolites of the

broken crust of penecontemporaneous and early diagenetic stage or the initial split oolites often coexist with deformed oolites, but intense split oolites coexist with split deformed oolites. The total amount of split oolites and deformed oolites can generally exceed that of the normal oolites. The split oolites and deformed oolites of the diagenetic stage generally have not undergone corrosion and the split parts could recover their original shapes. The intense break of split oolites or deformed oolites at the later stage of diagenesis is often accompanied by corrosion so as to form various suture lines.

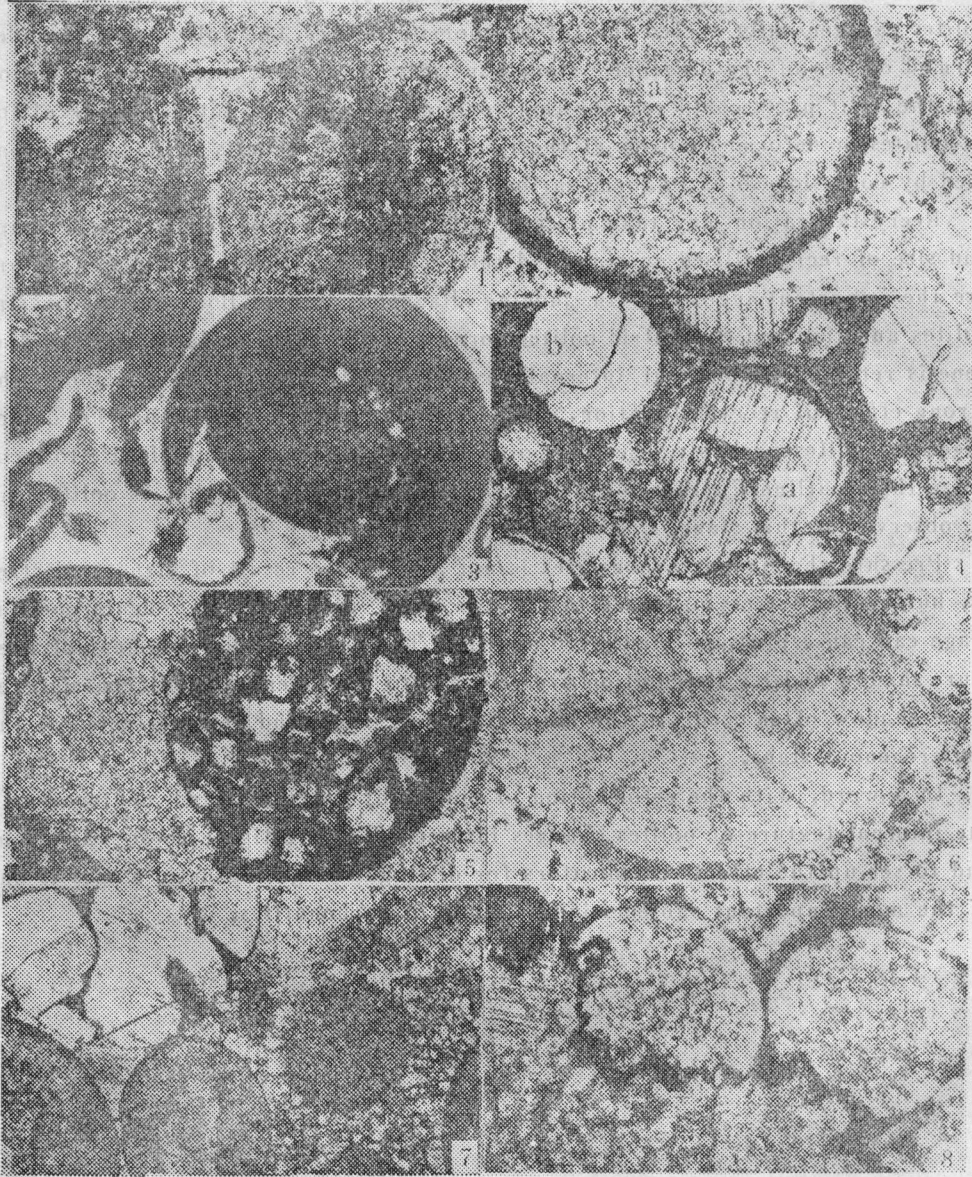
Recrystallization may take place at all the stages of diagenesis. The amount and size of recrystallised crystals and their relation with the original structure are the important indicators in judging diagenetic stages. Both initial crystal oolites and radiated concentric oolites formed at the early or later stage of diagenesis retain their original internal texture at different degrees. Under the strong effect of recrystallization, replacement and pressure solution the deuterogenous oolites probably lose their original texture; even it is difficult to recognize their outline. Furthermore, dolomitization and silicification of oolites can be observed at this stage.

Pressure shadow in carbonatites is not always the result of structural stress, but vertical stress produced in the process of diagenetic and deuterogenous stage can cause pressure shadow to appear. The degree of development of pressure shadow and its distribution are relevant to the strength of diagenesis. Pressure shadow often occurs at the later diagenetic stage and gets perfected at the deuterogenous stage.

In a word, with the reformation of oolites by diagenesis and deuterogene, the internal texture of oolites changes intensely. To investigate these variations and to set up the effective indicators for distinguishing diagenetic stages is one of the most important subjects in the study of carbonatites.

王英华等：鲕粒的结构变化与成岩作用性质和强度的关系

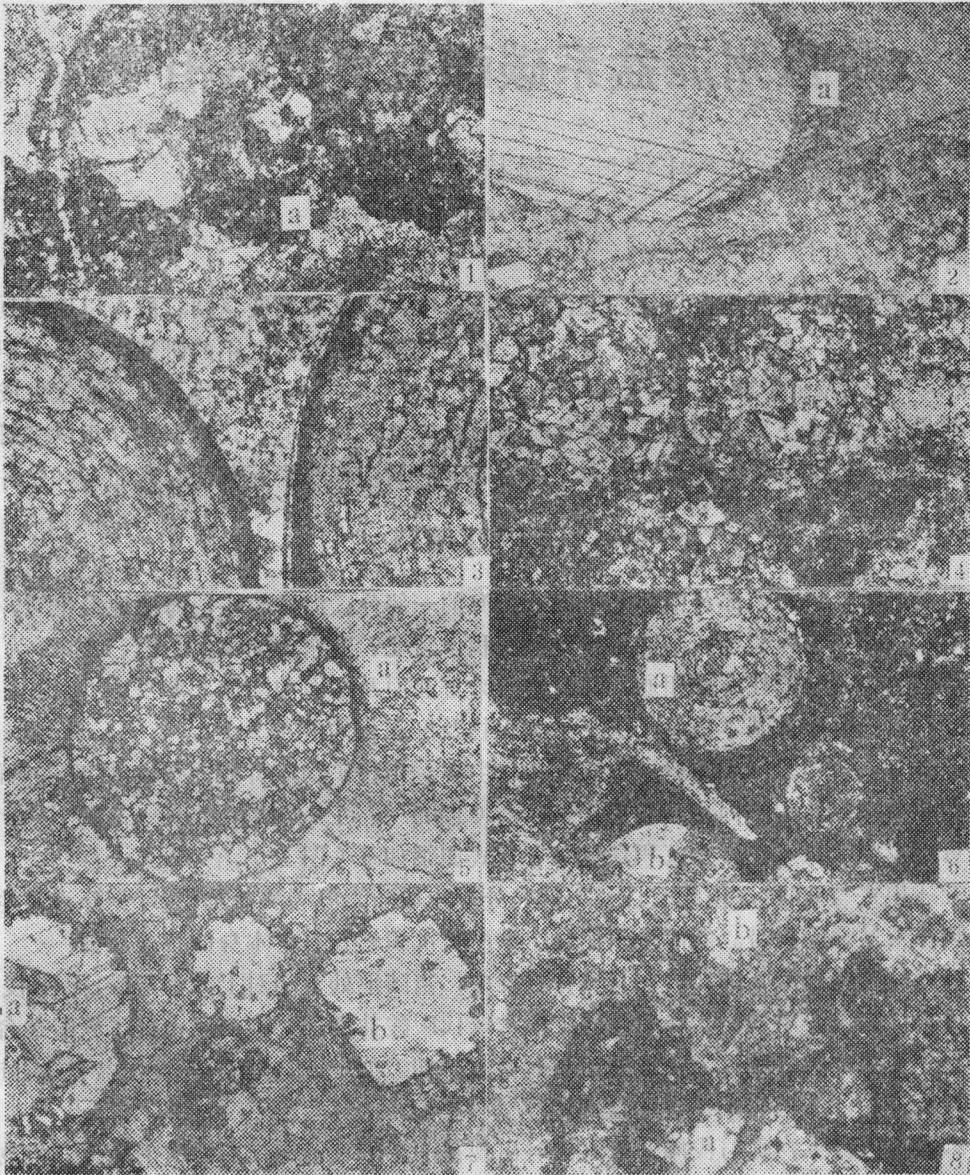
图版 I



1. 亮泥晶鲕粒灰岩，稍有磨圆的破裂鲕与完整鲕共生。2. 亮泥晶鲕粒灰岩，具断壳的壳迹鲕，成岩初期包壳局部裂开，位移不大，重结晶作用后，鲕内满布晶粒形成壳迹鲕(a)。泥晶基质因重结晶而易和亮晶胶结物混淆(b)。3. 泥晶鲕粒灰岩，由正常鲕形成的断壳鲕，破裂端向内推移，在压实作用下(并有压溶)，破裂较剧4亮泥晶鲕粒灰岩，切过鲕核的塑变破裂鲕(a)和破裂鲕(b)。5. 亮泥晶变形鲕灰岩，喙形鲕，鲕内部结构因准同生白云石化不易辨认，基质细晶化。6. 亮泥晶鲕粒灰岩，内错鲕，垂直压应力方向多成椭圆形，粒内产生齿状咬合的放射状内错纹，并有后生白云石分布。7. 亮泥晶鲕粒灰岩，后生破碎鲕粒破碎，可拼合。8. 泥晶鲕粒灰岩，连续小型水平缝合线，波幅2mm左右，多切穿鲕粒。

王英华：鲕粒的结构变化与成岩作用性质和强度的关系

图版 II



1. 微细晶鲕粒灰岩，连续小型水平尖峰型缝合线，缝合线切过鲕粒并几乎全部将鲕粒溶走形成铁泥质铸模 (a)。2. 亮晶鲕粒灰岩发育完好的压力影 (a)。3. 泥亮晶鲕粒灰岩，初晶鲕，鲕内重结晶为微晶方解石，右侧鲕内弱白云石化，白云石沿同心圆分布，泥晶基质也重结晶为污浊的方解石。4. 泥晶鲕粒云岩，后生云质鲕呈晶粒团，泥晶套及藻团基本保存完好。5. 亮晶鲕粒云质灰岩，白云石化限于鲕粒内部，云质鲕与灰质鲕共生，亮晶保存完好，云质鲕两侧有清晰的压力影 (a)。6. 泥晶鲕粒含云质灰岩，颗粒和基质均云化，同心鲕 (a) 和错裂鲕 (b) 原始结构基本保存。7. 泥亮晶残鲕云岩，错裂鲕 (a) 和棘屑 (b) 边缘及基质均被成岩晚期的自形白云石交代。8. 泥晶残余鲕粒云岩，缝合线附近铁泥质充填物显示溶蚀的鲕粒外形 (a)，缝合线两侧鲕粒与基质同时云化而成遗迹鲕 (b)。