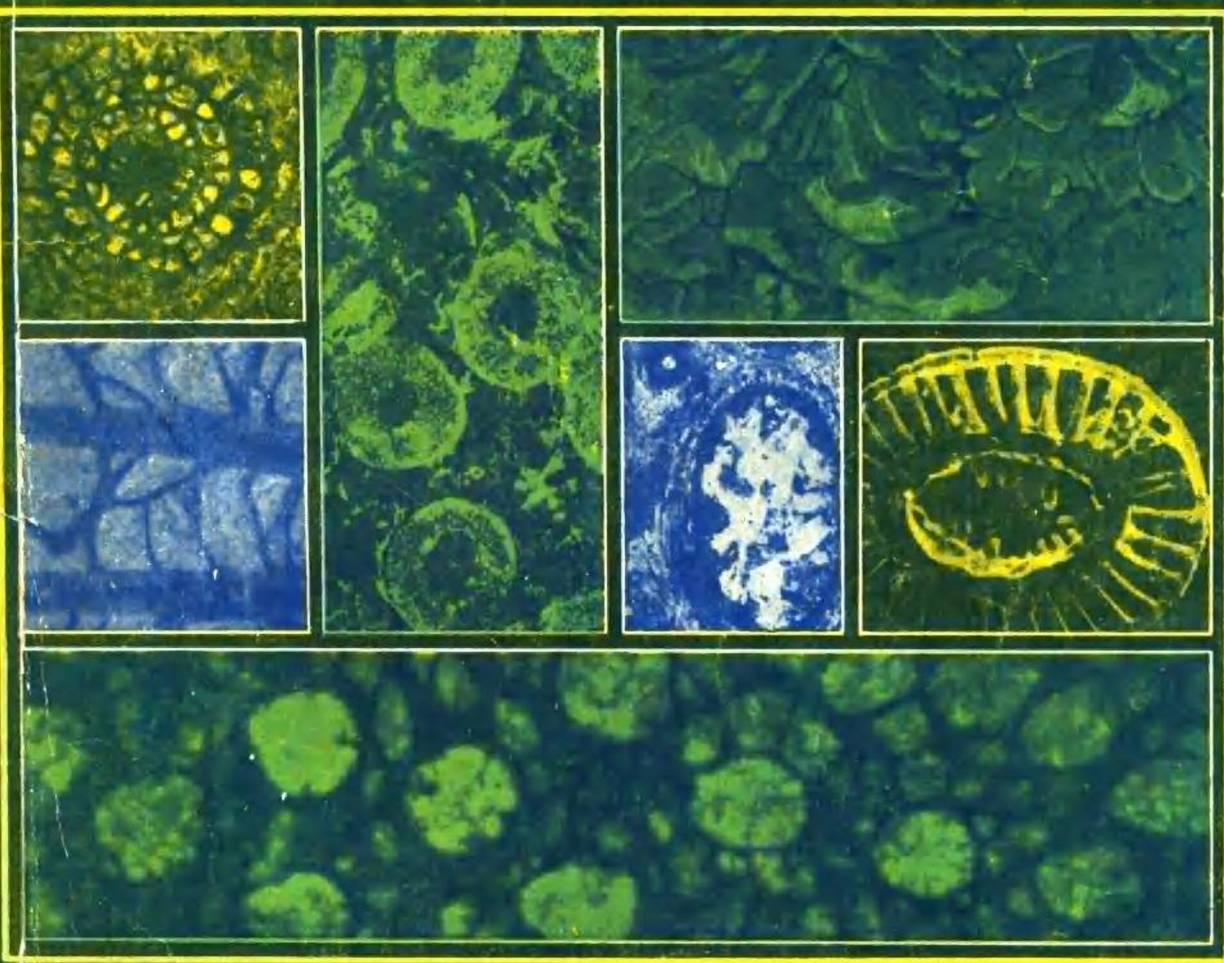


# 化石磷酸盐岩

余素玉 编著



地质出版社

# 化石碳酸盐岩

余素玉 编著

地质出版社

## 化石碳酸盐岩

余素玉 编著

•

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

•

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张：9<sup>1</sup>/<sub>8</sub> 字数：210,000

1982年3月北京第一版·1982年3月北京第一次印刷

印数1—4,830册·定价1.70元

统一书号：15038·新778

## 前 言

近年来，碳酸盐岩石的研究有了巨大发展，碳酸盐岩石学已成为一门有自己特色的独立学科。该学科取得进展的主要方面如现代海洋环境、成岩作用、碳酸盐化学、钙质骨骼的显微结构以及碳酸盐岩分类等，已有不少专论或综合性著作。本书侧重于论述具有生物化石的碳酸盐岩，特别是钙质化石的显微研究。化石薄片的鉴定方法、对化石颗粒的改造及其在岩石中显示的结构类型的论述是本书的重点部分；而碳酸盐岩的成因、分类以及成岩作用方面只着重于现代概念的认识；至于碳酸盐岩的微相研究，则是本书介绍的近代研究方法。本书另一侧重点是将钙质化石作为一种重要的岩石成因标志，认为在薄片中研究化石是确定古碳酸盐沉积环境最好的方法之一。

需要提出的是，碳酸盐颗粒与陆源碎屑的区别，在于前者几乎全部是在靠近沉积地点形成的，而它们的生成和改造多半取决于海底(或湖底)的生物作用。因此，要找出生物成因和非生物成因颗粒之间的差异往往很困难。本书用化石颗粒和非化石颗粒的概念将碳酸盐颗粒分开。所谓非化石颗粒系指鲕粒、团粒、内碎屑以及其它的凝聚粒。据研究，在多数情况下，化石和非化石颗粒在生成上互相排斥，它们之间可能的共生显然是流水能量促进或条件变化引起的。因此，本书在描述非化石颗粒时，特别注意其与化石颗粒的共生关系。

本书在编写过程中，何镜宇老师给予很大的支持和鼓励，多次指示并审阅全稿，提出许多宝贵意见并亲自修改了若干章节；我院袁宝华同志亲自审阅部分章节并提出宝贵意见。杨慕华同志协助完成最后修改，绘图室周春蓉同志清绘全书图件，在此一并致谢。

本书可供深入研究化石碳酸盐岩的教学、科研单位和地质队参考。由于编著者水平有限，书中谬误之处在所难免，敬希读者给予批评和指正。

编 著 者

1981年5月

# 目 录

## 前言

<b>第一章 对碳酸盐岩成因、分类以及成岩作用的现代认识</b> .....	1
<b>第一节 有关碳酸盐岩成因的新认识</b> .....	1
一、概述.....	1
二、生物造粒、造泥以及造架.....	2
三、白云岩的成因.....	4
<b>第二节 近代碳酸盐岩分类特点和流行的分类</b> .....	6
<b>第三节 碳酸盐沉积物的成岩作用</b> .....	13
一、成岩作用类型和作用方式.....	13
二、碳酸盐沉积物在成岩过程中的变化.....	16
<b>第二章 钙质化石的薄片鉴定方法及环境意义</b> .....	17
<b>第一节 化石鉴定标志</b> .....	17
一、概述.....	17
二、化石的岩石学标志.....	17
三、化石的生物学显微标志.....	32
<b>第二节 化石的鉴定和描述步骤</b> .....	34
<b>第三节 生物与其生活环境</b> .....	37
<b>第三章 造岩钙质藻类化石</b> .....	43
<b>第一节 一般特征</b> .....	43
<b>第二节 无壳类藻化石的鉴定特征</b> .....	46
一、概述.....	46
二、蓝绿藻细胞特征和鉴定标志.....	47
三、蓝绿藻分类和无壳蓝绿藻主要类型.....	48
四、叠层石鉴定特征.....	50
五、蓝绿藻的生态和分布.....	53
<b>第三节 薄壳类藻化石的鉴定特征</b> .....	54
一、薄壳蓝绿藻(微管状蓝绿藻)主要类型.....	54
二、红藻低等单细胞.....	54
三、颗石藻类.....	55
四、钙球.....	56
<b>第四节 厚壳类藻化石的鉴定特征</b> .....	57
一、绿藻类.....	57
二、红藻类.....	60
三、轮藻类.....	64
<b>第四章 钙质动物化石</b> .....	65
<b>第一节 各门类无脊椎动物造骨组织与硬体显微结构的关系</b> .....	65

第二节 单壳类动物化石的鉴定特征 .....	68
一、双瓣壳化石 .....	68
二、旋管壳化石 .....	68
三、多节壳化石 .....	76
第三节 支架类动物化石的鉴定特征 .....	77
一、管架状化石 .....	77
二、层架化石 .....	82
三、节板架化石 .....	83
第四节 针刺类化石鉴定特征 .....	84
一、骨针类化石 .....	84
二、骨刺类化石 .....	85
第五节 其它矿物组成的生物化石 .....	86
一、丁丁虫类 .....	86
二、牙形石 .....	87
三、鱼鳞和鱼骨 .....	88
四、放射虫类 .....	88
五、硅藻类 .....	89
<b>第五章 碳酸盐岩的微相研究</b> .....	<b>91</b>
第一节 碳酸盐环境标志 .....	91
一、化石组合的形成 .....	91
二、薄片明亮晶方解石胶结物的鉴别 .....	98
三、化石与其它类型的碳酸盐颗粒 .....	99
四、碳酸盐颗粒泥晶化标志 .....	101
五、碳酸盐岩中的生物沉积构造 .....	103
第二节 碳酸盐沉积环境模式 .....	107
一、概述 .....	107
二、按水底原始地形面划分的环境模式 .....	109
三、按潮汐作用划分的碳酸盐沉积微相 .....	112
第三节 微相研究 .....	115
一、微相研究提纲介绍 .....	115
二、微相类型 .....	119
三、环境模式的鉴别 .....	125
<b>图版</b> .....	<b>128</b>
<b>主要参考文献</b> .....	<b>138</b>

# 第一章 对碳酸盐岩成因、分类以及成岩作用的现代认识

## 第一节 有关碳酸盐岩成因的新认识

### 一、概述

沉积碳酸盐矿物主要有方解石和白云石。由含量大于50%的方解石组成的岩石称石灰岩；以白云石为主的则是白云岩。石灰岩和白云岩构成了具有显著特色，又有重要经济价值的碳酸盐岩。

石灰岩常呈灰色，有时是黑色，由于受混入物色素的浸染带黄、绿及红等色调。鲁欣(Рухин, 1961)曾指出，粗粒石灰岩的颜色常较浅，可能与强氧化条件有关；细粒石灰岩的颜色则较深，表示早期成岩阶段的还原条件或较深水的沉积条件。石灰岩中的混入物有陆源碎屑(包括粘土)、有机质以及各种自生矿物如海绿石、石膏、菱铁矿、硫化物、铁和锰的氧化物以及磷酸盐等。

白云石多半呈灰白色、浅灰色，有的甚至洁白如玉。在白云岩的混入物中，除了陆源碎屑(包括粘土)和较少的有机质以外，可见石膏、硬石膏、天青石等蒸发岩矿物。白云岩和石灰岩之间有一系列的过渡类型，特别是向石灰岩过渡的白云岩在外貌上与石灰岩很相似，肉眼很难区分。此外，白云岩和石灰岩一样，常有向陆源岩石过渡的类型，如砂质白云岩、泥质白云岩、白云质砂岩和白云质泥岩等。

碳酸盐岩在地壳中的分布仅次于粘土岩和砂岩，约占沉积岩总量的20%。据统计，碳酸盐岩在我国分布面积很大，约占沉积岩总面积的55%，特别发育于我国西南地区。

在十九世纪下半叶，碳酸盐岩被视为单一的化学沉积，仅根据颜色、成分、结晶程度以及显生物化石进行描述。近三十年，由于战后中东等地碳酸盐岩油储的大力勘探和开发，以及在美国巴哈马群岛、中东波斯湾等地开展了现代海洋碳酸盐沉积的研究，促进了碳酸盐岩石学的发展。对碳酸盐岩的成分、成因和分类提出了不少新观点，积累了大量的文献资料，大大地丰富了我们对此类岩石的认识。

对于碳酸盐岩的新认识、主要有以下几方面：

1. 生物在形成碳酸盐沉积物过程中起十分重要的作用，不但留下自己石化的颗粒(化石)成为碳酸盐岩重要的组分，而且在造泥以及形成某些沉积构造方面有显著的影响。随着电子显微镜的应用，发现更多碳酸盐岩的生成与生物活动有着密切的关系。

2. 对碳酸盐岩成因和分类提出了一些新观点。根据现代海洋碳酸盐沉积的研究，证实很多碳酸盐沉积除了化学成因以外，还具有生物成因和碎屑成因；某些碳酸盐颗粒从生成到沉积，综合了多种沉积作用而构成多成因性。在分类上，开始用陆源碎屑岩结构概念进行分类，即把碎屑岩的碎屑颗粒、胶结物以及基质概念引入碳酸盐岩，并根据碎屑颗粒与

基质和胶结物的量比关系（粒基比）进行分类。

3.对碳酸盐岩沉积环境的认识提高到一个新水平。随着有关碳酸盐沉积作用知识的显著增加，原先曾认为广泛分布的碳酸盐岩是较深的浅海沉积的概念改变了，现在认为在较浅的潮下、潮间甚至到潮上也大量发育碳酸盐沉积。原因是生物要在碳酸盐沉积中发挥大的作用，需要很浅的水。当然，有的碳酸盐物质也可以在深海和湖泊中形成。

4.对于碳酸盐沉积物的成岩作用有了进一步的认识。改变了成岩作用只是在沉积物埋藏以后进行的传统看法，认为碳酸盐沉积物大规模的胶结作用是在大气环境常温常压条件下发生的，有的甚至露出水面在大气水（淡水）作用下成岩；在原来沉积环境埋藏后或在地下深处，碳酸盐沉积物的成岩作用却进行得相当缓慢和微弱。

5.通过对现代海洋碳酸盐沉积物的研究，发现了直接由化学沉淀作用形成的原生白云岩。同时认为 $Mg/Ca > 1:1$ 的低盐度水，对沉淀白云石是有利的；而在高盐度条件下，生成白云石则要求较高的 $Mg/Ca$ 值（ $> 5-10:1$ ）。改变过去单纯认为白云岩是在高盐度和镁高度浓缩的条件下交代形成的观点。

此外，对生物骨骼的显微结构以及碳酸盐岩的矿物学的认识都有不少的进展。

## 二、生物造粒、造泥以及造架

生物从生活到埋藏，通过直接和间接的生物和生物化学作用，一直在造粒、造泥甚至造架，为大多数碳酸盐沉积物的形成创造物质组分。

### 造粒

石灰岩中的颗粒即福克（Folk, 1959）建议用的术语“异化粒”，指“不是正常化学沉淀的，而具有高度结构特征并在大多数情况下经过搬运的、复杂的碳酸盐集合体”。颗粒可分为化石颗粒和非化石颗粒，后者指鲕粒、团粒、内碎屑以及其它凝聚粒。

生物造粒系指生物通过生活活动和各种生物化学作用形成骨骼以及部分非化石颗粒，特别是生物以自己的钙质骨骼遗体直接提供各种粒度的化石颗粒，在大多数碳酸盐岩中成为几乎比鲕粒、团粒以及内碎屑等更为常见的颗粒类型。

无脊椎动物骨骼是在富含碳酸盐的水盆地中，通过生物造骨作用完成的，其中重要的作用方式即分泌作用。分泌作用是一种生物化学作用，指生物在生活过程中，从周围水体和食物中不断吸收 $CaCO_3$ ，在外表或体内分泌成骨骼。分泌的方式有增加、增大、蜕壳及变异等，都是以新骨骼物质与老骨骼物质关系作为依据划分的。所谓增加，指由许多骨片组成的动物骨骼，在生活过程中，不断增添新骨片于生长顶端，如海百合茎。增大是在早期分泌的骨骼物质中，不断增加新的骨骼物质，即不断加大，例如腹足类及其它无脊椎动物的外骨骼。节肢动物在生长过程中周期性蜕壳，形成新的 $CaCO_3$ 外壳以适应软体的增大，而旧壳的 $CaCO_3$ 被吸收储藏以用在新壳。变异方式常见于高级无脊椎动物骨骼的形成，指动物生长时，骨头增大，其形态和结构也发生改变，但新的并不依赖老的。但是，许多动物不止用一种方式生长自己的骨骼。

此外，一些红藻、松藻（绿藻）及轮藻的藏卵器已开始具有分泌 $CaCO_3$ 的能力，形成所谓钙壳而保存成钙藻类（具钙壳的藻类称钙藻类）化石。

一些不具钙壳的低等藻类（或称隐藻类）可以吸取水体中的碳酸盐并聚集呈胞状、团状、纹状、梳状以及丝状等等。藻又可以分泌有机物质，如蓝绿藻可分泌粘液质粘结 $CaCO_3$ ，



但本身常常不能形成遗体化石,而是在粘结的碳酸盐颗粒(或沉积物)中留下生命活动的遗迹。由于藻类繁殖使沉淀物中有机质含量高,色暗;藻类生长受抑制(主要是季节因素)时沉淀物中有机质含量少,色浅。如果这种抑制和繁殖周期性重复产生,则亮暗层交替发生。这时如有早先的碎屑在水体中滚动,亮暗层可以它为核心闭合成圈,形成藻豆石、藻鲕石,前者粒径 $>2$ 毫米。实际上藻灰结核、核形石都是藻豆石。那些不具亮暗层但有丰富藻迹的颗粒就是所谓的凝块石。核形石和凝块石都属隐藻成因的碳酸盐颗粒。此外,隐藻类也可以粘结水介质中的凝团或晶粒使之聚集成复合体,如葡萄石和其它团块。藻席干裂也直接提供砂砾级藻屑颗粒。

生物不但提供遗体化石颗粒,还形成遗迹化石。除核形石、凝块石以及藻鲕石等外,更为常见的是粪团粒(或称粪粒),它是生物在生活过程中,将灰泥通过排泄器官铸成或凝聚而成的。通过对现代碳酸盐沉积物的研究已证实粪团粒是大多数团粒的成因类型,以内部粉砂级和粘土级质点无定向排列并常与含量极高的有机质粘合在一起为特征。关于产生粪团粒的生物,Ginsburg(1957)认为沙蚕类蠕虫和甲壳类动物在佛罗里达南部是最重要的生物。Illing(1954)等推测,粪团粒在巴哈马主要是软体动物和甲壳类产生的。据统计,可有100个以上种属的生物产生粪团粒。

此外,化石可以作为形成鲕粒的核心,虫孔崩解而形成碎块等,都是生物间接造粒的实例。

#### 造泥

灰泥是浅的热带海水或广海的一种普遍的静水产物,相当于Folk所称的微晶(又译泥晶)或碳酸盐泥。灰泥在粒度和动力条件上与碳酸盐颗粒相对应;前者与陆源岩石中的粘土物质相当,后者则与砂砾相当。

与造粒相似,生物也以直接和间接两种方式形成灰泥。底栖生物的造泥是靠松藻科尸体分解或浮游微生物如颗石藻直接堆积成碳酸盐泥。在较为正常海底生活着的各种食泥动物组合,如海参、许多种海胆和海生蠕虫等,在沉积作用进行得不快的地方,将一些生物壳体咀嚼研磨和消化后,吸收其有机质,将磨细的壳质呈泥状排泄出来。除了这种生物机械作用以外,生物骨骼在海滩上受水动力的磨蚀作用,也是灰泥的来源之一。Lowenstam和Epstein(1957)根据巴哈马地区安德列斯岛西部方解石化的海松藻和交石泥相似的氧同位素比值,论证大部分灰泥来自藻。此外,由于浮游生物及微生物生长繁盛,改变水介质的pH值随后通过生物化学作用引起了碳酸盐泥的沉淀。当然,化学成因的灰泥也是存在的,Cloud(1962)等都坚持碳酸盐泥的化学成因观点。但是,由于海水中镁离子可以毒害方解石晶体表面和限制其成核作用,化学成因的方解石泥是很少的。

总之,大多数近代作者都倾向于藻或无脊椎动物骨骼的分解产物是现代灰泥的主要来源。至于如何与化学成因的灰泥区别,则是一个甚至用电子显微镜也不容易解决的问题。

#### 造架

生物或通过原地块状化石构成坚固骨架(骨架);或通过含丰富茎状和片状生物遗体对基质形成障碍而成障积支架;或通过分泌有机质粘结 $\text{CaCO}_3$ 结成壳而成纹层状层架(粘结),统称生物造架。

现代热带地区的珊瑚-藻礁是碳酸盐沉积的一种特殊类型。通常是一些珊瑚、某些珊瑚藻、有孔虫以及一些蠕虫,相互生长并粘结形成耸立而坚硬的碳酸盐格架,这种格架可

以抗浪。格架间隙中堆积散态的碳酸盐沉积物，甚至可以超过格架的体积。现代生物礁组合，常在北纬 $30^{\circ}$ 和南纬 $25^{\circ}$ 之间，生长于浅海台地边缘迎风的一面。据研究，群体底栖固着生长的，有丛状、分枝状积壳习性而能构成坚固格架的动植物才是造架生物，如某些珊瑚、水媳、层孔虫、苔藓虫和钙藻（主要是红藻和绿藻）等。一些蓝绿藻通过造岩和粘结作用形成大片具亮暗层构造的迭层石，由于具有生态位能，能构成藻架，也被认为是造架植物。所以二者均可形成著名的生物礁，但前者是生物群体骨架造礁，后者则是粘结式造礁。在古代礁中，有的根本看不到完整的骨架，只见局部有骨架式化石或骨架痕迹，可能说明造架生物通过生物化学作用使海水中 $\text{CaCO}_3$ 沉淀并粘结其它生物和碳酸盐碎屑也可造礁。

生物造粒、造泥和造架在地质历史中也是不尽相同的。据分析，在前寒武纪的海水中， $\text{Mg}/\text{Ca}$ 比率可能很高， $\text{pH}$ 值可能较低，这就阻止了生物坚硬骨骼的形成（Chilingar and Bissele, 1963; Fairbridge, 1964）。因此前寒武纪碳酸盐岩显然不是由生物分泌的介壳形成，而是由藻类的生物化学作用（ $\text{pH}$ 等）控制作用形成的，或者是由海水的直接化学沉淀作用而成的。直到寒武纪，各种动物才开始发挥其重要作用。以后，生物的造岩作用越来越占据重要地位。

### 三、白云岩的成因

白云岩成因是一个复杂问题。经常争论的焦点有两个：有无原生白云石沉淀？什么是原生沉淀的白云石？约于十九世纪末期，就有人试图通过白云石人工合成的实验来解决白云岩成因问题。成功的实验是在较高温度（ $100-250^{\circ}\text{C}$ ）和一定压力下进行的，因此认为自然界没有原生沉淀白云石的可能。白云岩的交代成因成为长期流行的观点。随着对近代沉积物日益广泛和深入的观察研究，越来越多的人认为原生白云石是存在的。而且在古代白云岩中，也可找到越来越多的原生沉淀证据。

按近代沉积物的观察，在澳洲南部库隆泻湖中，正在进行白云石的沉淀作用。这个湖一年一度由海水淹没，湖水含镁量不断增加。有人经两年的观察发现，在安静的湖水中，首先由于一些细小的悬浮物出现而变得混浊起来，这些悬浮物就是高镁方解石和白云石的混合物。在该湖附近的一些小湖中，以及在美国加利福尼亚州的深泉干盐湖中，也有这种化学沉淀的白云石沉积物。

在现代沉积物中，也发现大量由“毛细管浓缩作用”和“渗透回流作用”形成的白云石，对于这两种作用形成的白云石能否属原生沉淀尚存在分歧。

毛细管浓缩作用是一种向上的沉淀作用和交代作用。例如在中东波斯湾地区气候炎热，蒸发量大于降水量，使那里沉积物的粒间水不断大量蒸发。这些粒间水原是海水经蒸发而浓缩形成的，同时海水通过潮上带疏松沉积物的粒间孔隙（犹如毛细管）不断作侧向和上向移动。不断一面供给，一面蒸发使镁更加浓缩，因而在孔隙内沉淀白云石和其它蒸发矿物或交代原先碳酸盐矿物（图1-1A）。

渗透回流作用则是向下的交代作用，是在近海岸由隆起和隔开的与海不连通或半连通的湖泊中发生的。由于蒸发作用，使湖水的含盐度上升引起文石和石膏的沉淀、结果钙大量从湖水中析出，从而使 $\text{Mg}/\text{Ca}$ 比率大大上升，有时可达 $30:1$ 。这种富镁重卤水，由于比重大而沉于湖底，也可能越过障碍物向海洋回流。但是如果这一回流受阻，它也可能向

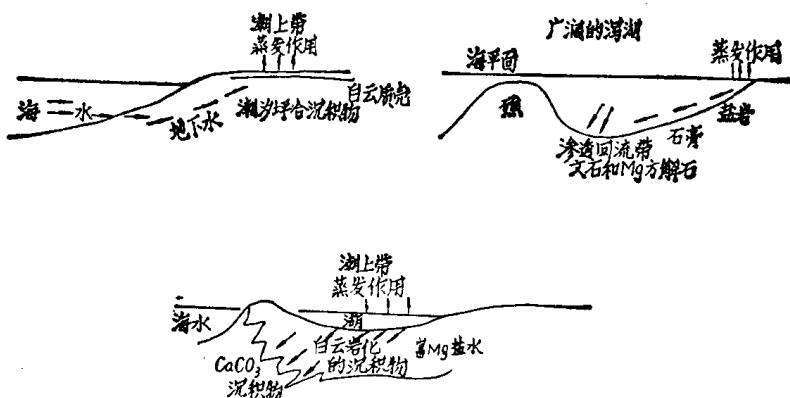


图 1-1 潮上带湖泊中渗透回流作用和毛细管浓缩作用示意图  
 左上图:毛细管浓缩或蒸发泵的白云石化作用模式 (据Friedman and Sanders,1966);  
 右上图:蒸发泻湖中渗透回流的白云石化作用模式 (据Rhodes et al., 1960);  
 下图:潮上带湖中渗透回流的白云石化作用模式 (据Deffeyes et al., 1965)

下渗透,下面是 $\text{CaCO}_3$ 沉积物,富镁的重卤水就要交代它们,而生成所谓准同生期的白云石(图1-1B,C)。

正如Bissell et al.提出的:“凡是能反映海水性质的白云石(如准同生或早期成岩)也算原生白云石”。我们认为如果把原生概念扩大到准同生或早期成岩作用,那么,上述两种实际上已是准同生作用形成的白云石,由于可以反映特定的沉积条件和沉积环境,应属原生沉淀之例。但是,成岩晚期到后生期交代而成的白云石,仍普遍存在。对此,人们进行过不少有成效的工作,并有不少值得介绍的文献作过阐述。其中如Chilinaar et al. (1966)对白云石成因问题进行了详细的探讨,并确定出极早期成岩的、早期成岩的、晚期成岩和后生(石化以后的)白云石。Fairbridge (1966)还确定出同生成岩期、变生成岩期和表生成岩期的白云石(图1-2)。

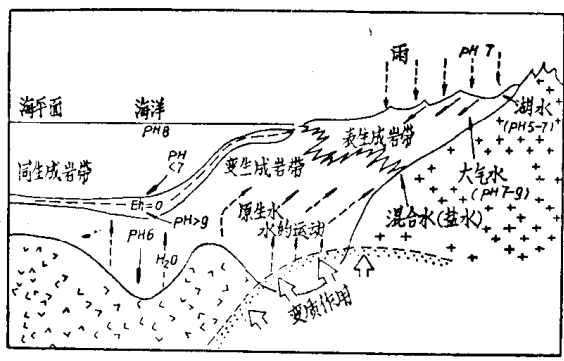


图 1-2 同生成岩期、变生成岩期和表生成岩期产物示意图 (据Fairbright, 1966)

关于原生白云石的形成环境, (Страхов,1956)曾提出以下四种类型:(一)在大型海盆(主要是台地)超盐度的边缘地区;(二)在台地上的超盐度浅海地区中部;(三)正常海白云化生物礁;(四)在干旱地区的泻湖或浅海湾(又被河水淡化)。它的形成条件,常归纳有:(1)深度——多数在0—3米的潮上带,部分在潮间带产出。近代白云石产地萨勃哈,实际上属潮上盐坪。(2)温度——在温度较高的地区可达28—35°C。(3)盐度——现代海水盐度为35%,现代白云石常见产在比正常海水高5—8倍的高盐度水中,从45—55%,一直高达270% (如波斯湾)。(4) pH——现代正常海水pH在8—8.7之间或更高些,而形成白云石多在9以上。

对于白云石沉淀需要高盐度问题,近年来也有一些新的认识,认为淡水白云石不但能

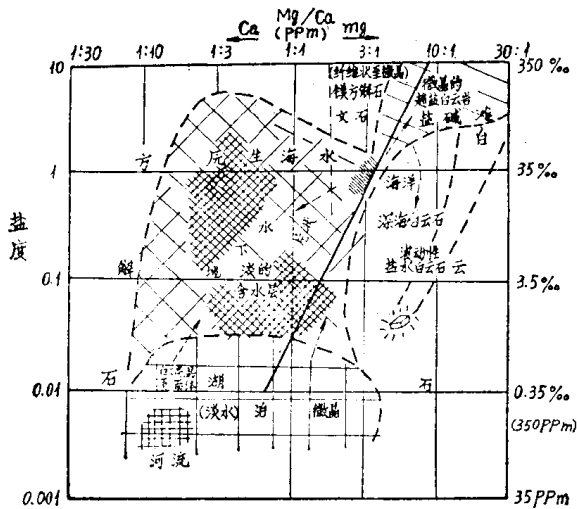


图1-3 在盐度与Mg/Ca比的坐标图上绘出各天然水体所出现的区域

白云石可在Mg/Ca比值近于1:1的溶液中形成。当盐度升高,形成有序排列的白云石构造变得困难时,要求提高它的Mg/Ca比。在盐碱滩,在白云石结晶以前Mg/Ca比至少先达到5或10:1,因为结晶过快,竞争离子过多(据Folk and Land, 1974)

产生而且晶体还较粗大。据Folk和Lland (1974)的研究,碳酸盐沉淀受热力和动力两方面条件支配。他们认为首先镁对方解石侧向生长起抑制作用,所以较粗大的方解石只能在低Mg/Ca下生成。其次在超盐条件下,由于高浓度外来离子多,干扰大,快速结晶,Mg/Ca>5—10:1的情况下才能生成白云石。这种白云石往往为隐晶质,缺乏有序排列。盐度逐渐下降,Mg/Ca较低甚至接近1:1(最下限)时也可生成白云石。因为在缺乏外来离子干扰、结晶缓慢条件下,方解石和白云石都可能形成自形晶。据他们研究,形成白云石最好的条件是淡水冲到海水中降低了盐度(或是超盐水和近于淡水交替的环境),而又保持当时的Mg/Ca。完全淡水但Mg/Ca>1:1的地带也可生成较粗的白云石(图1-3)。

## 第二节 近代碳酸盐岩分类特点和流行的分类

分类常常是容易引起争论的题目,因为随着研究目的和对成因理解的不同,可以有多种分类。近代碳酸盐岩的分类由于研究目的的变化和对成因日益深入的认识而有所发展,甚至被誉为一次突破和革命。

在二十世纪中叶以后,中东出现许多巨大碳酸盐岩油藏,北美也有20%的石油和天然气储于碳酸盐岩之中。由于这类岩石可直接作为有极大经济价值的油储,所以很快转向对这类岩石的储集性质和有利相带的研究,从而推动了对这类岩石成因的深入研究。同时也大力开展了现代碳酸盐沉积物的研究,并把研究成果与古代岩石的资料进行对比;通过现代技术的应用了解到碳酸盐岩是一类真正复杂的岩类。正如Ham (1962)指出的,碳酸盐岩具有多成因性,它的形成几乎“囊括了沉积作用中的所有重要的成因过程”,也就是说,很多碳酸盐岩(特别是灰岩)除了化学成因以外,还有碎屑成因和生物成因,而且这些成因常常在量上是过渡的,在质上是迭加的。前者说明不同成因的碳酸盐颗粒(异化粒)可以共生在一块岩石中;后者指很多碳酸盐颗粒经历了两个以上的成因阶段。说明这些颗粒往往以生物的、化学的以及生物化学作用的方式生成,但在沉积阶段受水的物理作用控制,即沉积方式是碎屑成因的。

鉴于上述的成因认识,应用已有的描述方法、定名和分类系统已不能直观反映对储油性质和有利相带的认识。可以这样说,碳酸盐岩成因研究的突破,推动碳酸盐岩分类上的一次飞跃,开始将能反映成因的硅酸盐碎屑岩结构概念引入碳酸盐岩中。

代表这种观点的分类方案，首先由Folk(1959)提出(表1-1)。他认为：(1)大多数碳酸盐岩和陆源碎屑岩一样，在粒度上也是二分的，同样有较粗粒的异化粒以及较细的基质和胶结物。他指出基质是1—4微米的微晶（或译泥晶）方解石，胶结物则是充填于异化粒之间的孔隙内的亮晶方解石（一般大于10微米）。(2)异化粒是盆内自生的碳酸盐碎屑（或颗粒），包括化石、鲕粒、球粒和内碎屑，葡萄石则是内碎屑特殊的成因类型。(3)异化粒与微晶和亮晶的比值关系可以反映胶结结构，用来标志水流和波浪作用的不同强度。与陆屑碎屑沉积物一样，水流动荡地区形成粒屑（异化粒）沉积物，水流缓慢的静水区常含有很多相当于粘土的极细的灰泥（微晶）。而砂屑灰岩相当于陆屑砂岩、砾岩；微晶灰岩与陆源的页岩和砂质页岩相当。以后，Folk又将陆源碎屑的结构成熟度概念引入碳酸盐岩中，并提出代表不同能量环境中沉积的岩石结构类型图谱(图1-4)。

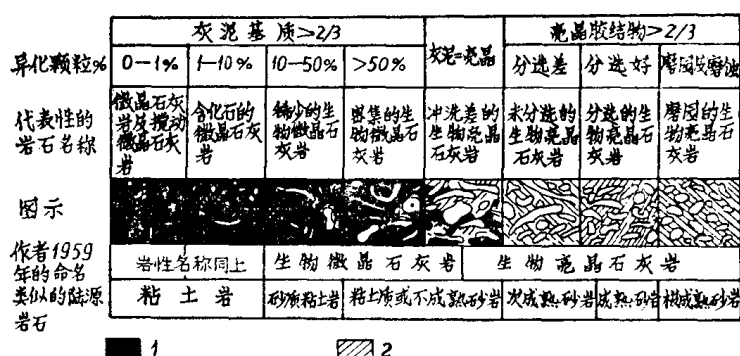


图 1-4 石灰岩的结构分类图谱。本图仅以生物微晶灰岩—生物亮晶灰岩为例作为示范，其它类型的异化颗粒石灰岩的名称可据此类推  
1—灰泥基质； 2—亮晶方解石胶结物  
(据Folk, 1962)

自此以后，不少反映现代观点的分类方案相继问世。由于采用的分类参数和所持目的不同，各种分类各具特色。H·J·Bissell和C·V·Chilingar(1967)曾对近十年提出的碳酸盐岩分类方案进行分析研究，现参考他们的意见，对近代分类特点归纳如下：

### 1. 成分分类

大多数人仍都同意卡耶(Cayeaux, 1935)关于石灰岩白云岩系列，即：石灰岩（白云石<5%）；含白云石灰岩（白云石5—10%）；白云质石灰岩（白云石10—50%）；灰质白云岩（白云石50—90%）；白云岩（方解石<10%）。在我国，方解石和白云石按不同比例划分的过渡类型，仍以“10—25%”为“含”，“25—50%”为“质”的习惯来划分，如含白云石灰岩（白云石10—25%）；白云质灰岩或云灰岩（白云石25—50%）；白云岩（方解石0—10%）。其次方解石、白云石与粘土质之间以及它们与陆源砂或粉砂之间的过渡类型都按上述原则分类命名。

### 2. 结构-成因分类

首先按成岩作用程度分为沉积结构能辨认和不能辨认两大类。前者按沉积作用特点进一步划分；后者即结晶碳酸盐岩，可按结晶颗粒粗细进一步命名。

表 1-1

碳酸盐岩的分类 (据 Folk, 1962)

		石灰岩、部分白云化石灰岩及原生白云岩				交代白云岩(V)											
		异化颗粒 > 10%		异化颗粒 < 10%		未受搅动的礁石灰岩 (IV)	有异化颗粒痕迹	无异化颗粒痕迹									
		异常化学岩(I, II)		微晶岩(III)													
		亮晶胶结物 方解石	微晶泥基质	亮晶胶结物 方解石	微晶泥基质												
亮晶异常化学岩		微晶异常化学岩		1-10%	< 1%												
异化颗粒的体积含量	内碎屑 > 25%	内碎屑亮晶砾石灰岩		*内碎屑微晶砾石灰岩	最 主 要 的 异 化 颗 粒 类 型	内碎屑: *含内碎屑的微晶石灰岩  鲕粒: *含鲕粒的微晶石灰岩  化石: 含化石的微晶石灰岩  球粒: 含球粒的微晶石灰岩	假 如 受 过 搅 动 则 称 搅 动 微 晶 石 灰 岩	假 如 为 原 生 白 云 岩 则 称 微 晶 石 灰 岩	生 物 岩	异 化 颗 粒 明 显	细晶内碎屑白云岩	中 晶 白 云 岩					
		内碎屑亮晶砾石灰岩		*内碎屑微晶砾石灰岩							粗晶鲕粒白云岩						
	内碎屑 > 25%	鲕粒亮晶砾石灰岩		*鲕粒微晶砾石灰岩							化石: 含化石的微晶石灰岩		假 如 受 过 搅 动 则 称 搅 动 微 晶 石 灰 岩	假 如 为 原 生 白 云 岩 则 称 微 晶 石 灰 岩	生 物 岩	隐晶生物白云岩	细 晶 白 云 岩
		鲕粒亮晶砾石灰岩		*鲕粒微晶砾石灰岩													
	< 25%	鲕粒	生物亮晶砾石灰岩								生物微晶砾石灰岩		化石: 含化石的微晶石灰岩	假 如 受 过 搅 动 则 称 搅 动 微 晶 石 灰 岩	假 如 为 原 生 白 云 岩 则 称 微 晶 石 灰 岩	生 物 岩	明 显
			生物亮晶砾石灰岩								生物微晶砾石灰岩						
			生物球粒亮晶砾石灰岩								生物球粒微晶砾石灰岩						
	< 25%	化石与球粒的体积比	> 3:1	生物亮晶砾石灰岩							生物微晶砾石灰岩		化石: 含化石的微晶石灰岩	假 如 受 过 搅 动 则 称 搅 动 微 晶 石 灰 岩	假 如 为 原 生 白 云 岩 则 称 微 晶 石 灰 岩	生 物 岩	明 显
			3:1 / 1:3	生物球粒亮晶砾石灰岩							生物球粒微晶砾石灰岩		球粒: 含球粒的微晶石灰岩	假 如 受 过 搅 动 则 称 搅 动 微 晶 石 灰 岩	假 如 为 原 生 白 云 岩 则 称 微 晶 石 灰 岩	生 物 岩	明 显
			< 1:3	球粒亮晶砾石灰岩							球粒微晶砾石灰岩		球粒: 含球粒的微晶石灰岩	假 如 受 过 搅 动 则 称 搅 动 微 晶 石 灰 岩	假 如 为 原 生 白 云 岩 则 称 微 晶 石 灰 岩	生 物 岩	明 显

使得近代碳酸盐岩分类面目为之一新的方案主要反映在结构-成因分类上。尽管这类方案提出的特色各异,但仍存在比较一致的特点:

(一) 反映了碳酸盐岩的多成因性。以Bisselle和Chilingar分类系统为例(表1-2),他们根据三种主要的成因将碳酸盐岩分为三个主要结构类型:

表 1-2

石灰岩的分类 (据Bisselle和Chilingar, 1967)

能量指数EI	颗粒		经波浪和水流搬运和沉积的 <sup>①</sup>					原地堆积的		
	泥晶 GMR	颗粒 %	磨蚀颗粒		加积-凝聚颗粒			生物骨架 建造的	化学-生物 化学的	
			碎屑	骨屑	团粒	团块	包一粒			
↑ 水的搅动增强	强搅动 V <sub>3</sub> (在强烈搅 动水中生长 和沉积) V <sub>2</sub> V <sub>1</sub>  中强搅动 IV <sub>3</sub> (在中强搅 动的水中沉 积) IV <sub>2</sub> IV <sub>1</sub>  弱搅动 III <sub>3</sub> (包括水的III <sub>2</sub> 波动) III <sub>1</sub>  间歇搅动 II <sub>3</sub> (搅动和静 水相同) II <sub>2</sub> II <sub>1</sub>  相对静水 I <sub>3</sub> (沉积于静 水中——不 一定是滞水 ——可有平 静的搅动) I <sub>2</sub> I <sub>1</sub>	9/1           1           1/9	90           50           25           10	碎屑灰岩 <sup>②</sup>	骨屑灰岩	团粒灰岩	团块灰岩	鲕粒、豆 粒、鲕团 粒、藻包 粒…灰岩	群体珊瑚、 层孔虫、群 体藻、苔藓 虫、有孔 虫…灰岩	绝大部 分是无机 沉淀的灰 岩(通常 无生物构 造)如石 灰华、石 钟乳、钙 质层,某 些凝灰质 灰岩、某 些凝块灰 岩以及可 能有某些 泥晶灰岩
				含泥晶的 碎屑灰岩 <sup>③</sup>	含泥晶的 骨屑灰岩	含泥晶的 团粒灰岩	含泥晶的 团块灰岩	含泥晶的 鲕粒、豆 粒…灰岩	泥晶-珊 瑚、藻、苔 藓虫…灰岩 (根据具 体情况选用 “含”字前 缀)	
				泥晶-碎屑 灰岩	泥晶-骨屑 灰岩	泥晶-团粒 灰岩	泥晶-团块 灰岩	泥晶-鲕粒 灰岩	豆粒…灰岩	
				碎屑-泥晶 灰岩	骨屑-泥晶 灰岩	团粒-泥晶 灰岩	团块-泥晶 灰岩	鲕粒的、 豆状的… 泥晶灰岩	珊瑚、藻、 苔藓虫…泥 晶灰岩	
				含碎屑 泥晶灰岩	含骨屑 泥晶灰岩	含团粒 泥晶灰岩	含团块 泥晶灰岩	含鲕粒、 豆粒的… 泥晶灰岩	(根据具 体情况选用 “含”字前 缀)	
		泥晶灰岩	泥晶灰岩	泥晶灰岩	泥晶灰岩	泥晶灰岩				

注: ①—如出现复合的颗粒组分, 采用水平的连接符号, 如含碎屑-骨屑的鲕粒泥晶灰岩等;

②—如欲表示粒度含义, 则采用砾屑灰岩、砂屑灰岩、粉屑灰岩、泥屑灰岩等名词代替“灰岩”一词;

③—如果岩石由不同粒度的颗粒组成, 且粒度都大于泥晶, 则把充填在颗粒之间的较细粒物质称为层质。

(1) 原地堆积的(化学的)——非颗粒, 缺乏生物痕迹, 如石灰华;

(2) 原地堆积的(生物格架的)——例如珊瑚、苔藓虫等石灰岩(颗粒>90%)、微晶珊瑚石灰岩(颗粒90-50%)、珊瑚微晶石灰岩(颗粒<50%);

(3) 水流的和波浪搬运的碎屑(广义的)石灰岩还可按颗粒含量和颗粒类型作进一步划分: 例如颗粒>90%者为碎屑石灰岩(指内碎屑和灰岩岩屑石灰岩)、骨粒(或化石)石灰岩、团粒石灰岩、团块石灰岩以及鲕粒石灰岩等, 颗粒90-75%者为含微晶碎屑石灰岩(即含微晶颗粒石灰岩), 颗粒75-50%者为微晶碎屑石灰岩, 颗粒50-25%者为碎屑-微晶石灰岩; 颗粒25-10%者为含颗粒微晶石灰岩。

在以上三种成因中, 特别认为后一种成因是重要的, 即强调大部分碳酸盐岩在沉积方式上是受水力控制的。

(二) 均以碳酸盐颗粒、微晶基质(或灰泥)以及亮晶方解石胶结物作为重要的分类参数。尽管不同的结构-成因分类原则有二端元(颗粒和基质)和三端元(颗粒、基质和胶结物)之差, 但都引入陆源碎屑岩的碎屑结构概念。认为碳酸盐颗粒相当于陆源砂砾级碎屑, 灰泥相当于粘土基质, 亮晶方解石胶结物相当于陆源砂砾岩内成岩期化学沉淀的胶结物。而碳酸盐颗粒是盆内碎屑(或称内源碎屑), 与陆源碎屑(或称盆外他生碎屑)尽管生成方式不同, 但在沉积方式上都受水力控制, 同样是在强水动力条件下沉积粗粒碎

屑，而在低能条件下堆积细粒碎屑。

(三) 比较直观地反映了能量环境。Folk分类是以异化粒、微晶方解石基质和亮晶方解石胶结物三种组份的相对比例来划分石灰岩，明显反映了水动力的强弱，例如异化粒亮晶灰岩反映高能条件下的产物，而异化粒<10%的微晶石灰岩则是低能条件的产物。另一种在国外被广泛采用，在国内某些单位(研究储集性质时)也运用的是Dunham, R.J.分类方案(1962)。他在分类中特别强调颗粒与灰泥基质的量比及相互关系，提出以颗粒为主即颗粒支架的；还是以泥(指灰泥)为主即泥支架的新概念。两者代表显然不同的环境：在高能量条件下，由于流水再搬动的结果，灰泥(指小于0.02毫米直径的质点)大量被带走，仅有少数能保留在堆积地点，造成颗粒支架。在低能量即静水条件下，则形成灰泥支架。他还把碳酸盐岩分成六类(表1-3)。

表 1-3 碳酸盐岩的沉积结构分类 (Dunham, 1962)

沉积结构				能 辨 认	沉积结构不能辨认
在沉积作用过程中原始组分未被粘结				在沉积作用过程中，原始组分被粘结在一起，其标志有连生的骨骼物质，与重力作用相反的纹理，沉积底盘的孔洞等。	(本类岩石还可根据结构和成岩特征作进一步的划分)
有泥(粘土和粉砂大小的质点)		无 泥			
泥 支 架 的		颗粒支架的			
颗粒<10%	颗粒>10%	颗粒支架的	颗粒支架的		
泥状(灰)岩 (Mudstone)	粒泥(灰)岩 (Wackestone)	泥粒(灰)岩 (Packstone)	粒状(灰)岩 (Grainstone)	粘 结 岩 (Boundstone)	结 晶 碳 酸 盐 岩 (Crystalline Carbonate)

Dunham分类以灰泥含量及支撑性质来体现沉积时的水动力条件，较为合理，且分类简明，故用者较多。

Leighton, M. W.和Pendexter, C. (1962)分类强调以颗粒(G)与灰泥(M)之比作为分类参数。他们认为粒基比(GMR)不同所反映的水动力强弱是不同的。例如岩石含90%的颗粒(相当于Folk的异化粒)，比值为9/1，反映的能量极高，含50%的颗粒，比值是1/1；含10%颗粒，比值为1/9，表明水动力依次减弱，到1/9能量最低(表1-4)。他们的分类，是碳酸盐岩分类定量化的又一尝试。

表 1-4 Leighton和Pendexter的石灰岩结构分类

灰 泥	颗 粒 颗粒%	颗 粒 类 型					生 物 格 架	无生物格架
		碎 屑	骨 屑	球 粒	团 块	包 粒		
9 : 1	90%	碎 屑 石 灰 岩	骨 粒 石 灰 岩	球 粒 石 灰 岩	团 块 石 灰 岩	鲕粒石灰岩 豆粒石灰岩 藻类包粒石灰岩	珊瑚石灰岩 藻类石灰岩	钙 结 层
		碎屑灰泥 石 灰 岩	骨粒灰泥 石 灰 岩	球粒灰泥 石 灰 岩	团块灰泥 石 灰 岩	鲕粒灰泥石灰岩 豆粒灰泥质岩	珊瑚灰泥质岩 藻类灰泥质岩	
1 : 1	50%	灰泥碎屑 石 灰 岩	灰泥骨粒 石 灰 岩	灰泥球粒 石 灰 岩	灰泥团块 石 灰 岩	灰泥鲕粒灰岩	灰泥珊瑚灰岩	石 灰 华
1 : 9	10%	石 灰 岩	石 灰 岩	石 灰 岩	石 灰 岩	灰泥豆粒灰岩	灰泥藻类灰岩	
灰 泥 石 灰 岩								



### 3. 能量指数(E1)分类

把反映沉积环境能量大小的水的动荡程度进行分级的定量指标,是Plumley等(1962)提出的新概念。他们的能量指数分类,是在综合矿物成分、结构(粒度、分选性、圆度)、生物面貌(特征化石、化石共生组合及其保存情况)的基础上提出的。实际上,他们这种分类方案并不是对岩石的具体划分和命名,而是一种成因类型或微相划分方案。在分类中,他们把碳酸盐沉积分为静水、间歇性水、弱动荡水、中强动荡水以及强动荡水等五种类型。每种类型各自依据一套划分标志。例如动荡水沉积的标志是:(1)部分固结的沉积物或原来岩石的碎屑,粒度由砾至粉砂,圆度不等;(2)磨圆的化石碎屑;(3)分选差的基质;(4)碳酸盐质点与粒度相近的陆源砂混杂;(5)混杂的动物群和植物群,其生态特征往往有矛盾,说明为异地沉积;(6)鲕状沉积物的出现;(7)抗浪原地群体生物的出现;(8)沉积构造,如小规模交错层理等。

1967年Bisselle和Chillingar提出的分类方案,引入了能量指数的概念,并仅以粒基比作为划分能量指数的基本依据。应当指出,他们在引用能量指数这一概念时,既违背了Plumley的原意,又忽视了多种成因标志能量的综合分析,不适当地夸大了颗粒/泥晶比的意义。而粒基比,正如Dunham所指出的,并非能量条件的确切指标。

以上分类特点主要对石灰岩而言。对于白云岩分类,如果是次生白云岩,原来结构还没有完全被破坏,基本上可以采用石灰岩的分类,而白云岩为隐晶时,往往具有原来的残余和粒状痕迹。完全结晶的白云岩只能根据晶粒大小进行分类。

六十年代引入我国最早的碳酸盐岩分类,是Folk的分类方案。该分类是为宾夕法尼亚州比克曼镇奥陶系岩石提出的(1959,1962),在其它地区应用也很成功。由于该分类中具体的含量关系与我国习惯不同,故在实际工作中,多引用他的分类观点和分类参数,而在具体内容上则加以修改。现以成都地质学院采用的石灰岩分类表(1-5)为例并稍加说明。

(1)采用<10, 10—25, 25—50, >50%的几个界线。

(2)若颗粒数<10%就不参加定名;颗粒占10—25%,称含颗粒××灰岩;颗粒25—50%,则叫颗粒××灰岩;颗粒>50%者叫××颗粒灰岩。因颗粒>75—90%的岩石少见,故未单独列出。

(3)命名原则是含量多者在后,少者在前。

(4)若颗粒数多时,粒间填隙物可以是亮晶胶结物或微晶基质,也可以是亮晶与微晶同时存在。若颗粒少时,粒间填隙物多为微晶基质。

(5)内碎屑和生物碎屑(或化石、骨屑)可按大小进一步划分;生物碎屑又可按种类进一步命名。

(6)生物骨架灰岩的详细划分,按生物种类命名。

由于石油工业的蓬勃发展,对碳酸盐岩石的研究也日益深入。在分类上,出现了不少既能反映国外分类的新成果,又适合我国特点和习惯的新分类方案。除成都地质院提出的分类以外,华东石油学院提出的石灰岩结构分类,也是结合我国实际情况参照一些国外结构分类提出的。该分类比较简明扼要,既适合于描述又反映成因特点,也有一定的参考价值(表1-6)。

但是在分类问题上,“……重要的问题是:如何更好地描述岩石,各类岩石之间的界线划分在什么地方,以及这些岩石类型如何命名,只不过是手段而已。只要能系统并前后