

讲座

沉积作用与沉积相

第二讲

近代碳酸盐岩分类特点

余素玉 (武汉地质学院)

分类常常是容易引起争论的题目,因为随着目的不同和成因理解不同,可以出现很多种分类。二十世纪中叶以后,碳酸盐岩的分类也是随着研究目的的变化和对其成因日益深入的认识而有所发展,被誉为是分类上的“一次突破”和“一次革命”。

二次大战前,对碳酸盐岩的描述和分类,大都是根据其颜色、结晶程度、显生物化石,并使用灰岩和白云岩等术语。这种分类的成因依据,就是水盆地内简单的化学作用。反映在当时的教科书内,都用化学观点来讨论石灰岩。如石灰岩和白云岩的界限在哪里?含多少不溶残余粘土就是泥灰岩;或者直接用古生物名称命名石灰岩(如海百合灰岩、有孔虫灰岩等);或根据结构特征定名,如鲕状灰岩、豆状灰岩等。但很早(1903)美国葛利普(Grabau)已提出根据颗粒大小划分岩石,需命名砾屑灰岩、砂屑灰岩、泥屑灰岩等;在我国有竹叶状灰岩和米粒灰岩与之相当。虽然当时已考虑了灰岩的碎屑成因,但这种按粒径大小划分的基础是平均大小,与当今认为的二分粒径显然不同。1938年美国布莱克(Black)也把生物成因的概念引入碳酸盐岩命名中,应用的岩石名

称有:介屑灰岩、泥晶生物灰岩、礁灰岩、叠层藻灰岩、球粒灰岩和泥状灰岩。苏联捷奥多洛维奇(Теодорович)提出成因分类(1941),他将碳酸盐岩分为生物、碎屑、化学、隐生和异生五种成因。尽管后期纯“化学成因”观点越来越有所动摇,但仍限于常规描述和分类的趋势。特别认为它们成因简单、特征单调,对这类岩石的认识长期陷于停顿,更谈不上把那些能说明成因,或能为沉积环境划分提供依据的特征和标志在分类中直接反映出来。

二十世纪以后,中东发现许多巨大碳酸盐岩油藏,北美也大约有20%的石油和天然气储集于碳酸盐岩之中。由于这类岩石可直接成为有极大经济价值的油气藏,因此,研究这类岩石的储集性质和有利相带就成为重要目的。与此同时,大力开展了现代碳酸盐沉积物的研究,结合古代岩石研究,认识到碳酸盐岩的多成因性,并着重提出大部分碳酸盐岩是受水力作用控制的“二分性碎屑成因”的观点。由于碳酸盐岩成因认识的突破,推动分类上的一次飞跃。大部分新的分类采取了把成因解释贯穿到描述性分类中去的途径。特别是将硅酸盐碎屑岩结构概念引

入碳酸盐岩分类。对此,人们真正的意图是“用沉积环境、水动力能量以及相的分布来解释石灰岩”,即在分类上直观反映水流能量,进而说明沉积环境。

一、二分性碎屑成因

二分性碎屑成因是指造成粗屑(碳酸盐碎屑)和极细屑(碳酸盐泥)不同比例混合的水力学机理。

大家熟悉的陆源碎屑岩,其组分有碎屑,基质(或杂基)和胶结物,其中基质主要是泥质(在砂岩中是粘土+细粉砂),胶结物主要指成岩期化学沉淀物。由于泥基质是同陆源碎屑一起搬运而来,所以也具有碎屑性质。陆源碎屑与泥基质同是碎屑,但粗细悬殊,而且后者在广义上也起填隙作用,其含量丰度表明冲洗作用的强弱,或显示水流能量的高低。即冲洗能力强,能量高,泥基质在砂岩中含量少,反之则多。我们称这种砂岩在粒度上是二分的(指碎屑和基质),这种砂岩无疑是具有二分性碎屑成因的。和陆源碎屑岩一样,大部分碳酸盐岩除了自生碎屑以外,也有基质和胶结物。基质是碳酸盐泥(或微晶方解石),胶结物就是亮晶方解石,在成因上也与砂岩相似。

首先将碎屑岩的上述结构概念或二分概念引入碳酸盐岩分类的是福克(Folk, 1959)。他认为微晶(或泥晶)基质(或碳酸盐泥)是碳酸盐岩中“直径为1—4微米”的质点,相当于砂岩中的泥基质(或粘土基质),肉眼观察特点是致密的或为隐晶状。泥晶除了在碎屑碳酸盐岩中充当基质以外,还可在微晶(或泥晶)灰岩中作为主要部分。对于亮晶,福克认为它通常大于10微米。但更重要的是,亮晶方解石作为胶结物一定是填隙的,是在微晶基质冲洗掉的前提下才进入的。因此它一方面要求有一定量的碳酸盐碎屑能搭成孔隙,又要求有一定程

度的冲洗作用,去掉部分或全部泥晶基质,而腾出孔隙空间。所以亮晶方解石的丰度表明水流能量,其丰度越高,显示水动力越强;微晶基质则相反,其含量越高,说明水动力越弱。由于亮晶胶结物又相对于碳酸盐自生碎屑存在,没有碎屑就谈不上有亮晶胶结物,只能是微晶重结晶后的较粗晶。所以自生碎屑含量越高(一般认为碎屑含量在50%左右才有可能出现较大量的亮晶胶结物),出现亮晶胶结物的可能性越大,在表明能量高低上,自生碎屑和亮晶胶结物的作用是一致的。也就是说,在有些碳酸盐岩内,不用亮晶胶结物丰度,而用自生碎屑颗粒与基质比(即所谓粒基比),同样可以达到标志能量的效果。

二、现代分类的特点

裴蒂庄(Pettijohn, 1957)把石灰岩划分为异地石灰岩和原地石灰岩。异地石灰岩是由搬运的自生碳酸盐碎屑组成,它们大都受到分选,并具有结晶方解石胶结物。原地石灰岩未经搬运,化石存在于灰泥基质中,如深海石灰岩和礁灰岩等。

福克于1959年在美国石油地质学家协会上提出了他的分类。他首先提出受水流和波浪作用控制的所谓大部分碎屑碳酸盐岩在粒度分布上是二分的,即存在较粗粒的“异化粒”(即自生碳酸盐岩碎屑)以及极细粒但与之同时沉积的微晶基质,并认为在孔隙中充填的是成岩过程中沉淀的亮晶方解石胶结物。之后,他用这三个结构端元(即三元法)对碎屑成因的碳酸盐岩进行了分类(见表1),并与相当的砂岩进行了对比(见图)。

应当提出的是,过去虽然也有个别学者如葛利普使用粒度来划分石灰岩,但大多数作者都很少或根本不注意基质在解释沉积环境或水动力能量上的意义,因此,福克把它

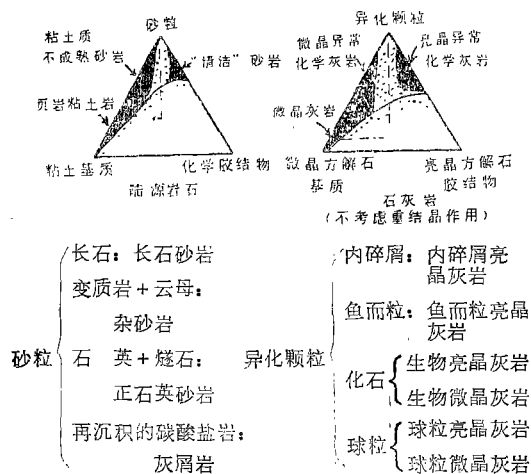
碳酸盐岩的分类 (据福克, 1962)

表 1

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% 异常化学岩 (I 和 II)						异化颗粒 $\leq$ 10% 微晶岩 (III)		未受搅动的礁石灰岩 (IV)	有异化颗粒痕迹	无异化颗粒痕迹		
亮晶方解石 > 微晶胶结物 < 泥基质						亮晶方解石 > 微晶胶结物 < 泥基质					异化颗粒 1—10%	异化颗粒 $\leq$ 1%
亮晶异常化学岩						微晶异常化学岩						
异化颗粒的体积含量	内碎屑 $\geq 25\%$		内碎屑亮晶 砾屑石灰岩 内碎屑亮晶石灰岩		*内碎屑微晶砾屑石灰岩 *内碎屑微晶石灰岩		最主要的异化颗粒类型	生 物 岩	异化颗粒明显	细晶内碎屑白云岩 中晶白云岩		
	* * 鱼而粒 $\geq 25\%$		鱼而粒亮晶砾屑石灰岩 鱼而粒亮晶石灰岩		*鱼而粒微晶砾屑石灰岩 *鱼而粒微晶石灰岩							
	* 鲕粒 $> 3:1$		生物亮晶砾屑石灰岩 生物亮晶石灰岩		生物微晶砾屑石灰岩 生物微晶石灰岩							
	* 粒 $3:1 \sim 1:3$		生物球粒亮晶石灰岩		生物球粒微晶石灰岩							
	$< 25\%$		球粒亮晶石灰岩		球粒微晶石灰岩							
内碎屑 $< 25\%$		化石与球粒的体积比 $> 3:1$		化石： 含化石的微晶石灰岩		球粒含球粒的微晶石灰岩	生 物 岩	异化颗粒明显	极细晶球粒白云岩			

*表示不常见的岩石类型;

**因为条件限制, 鲕字只能排作鱼而。下同



石灰岩分类与陆源岩石分类对比图

作为重要的分类参数, 使其分类更具有直接反映环境的特点。1962年他又将砂岩结构成熟度的概念引入碳酸盐岩中, 並提出代表不同能量环境沉积的岩石结构分类 (表 2), 他並根据异化和微晶的相对含量, 以及异化

粒的相对含量, 以及异化粒的分选性及磨圆度定量地确定了各组岩石之间的界线。

砂岩结构成熟度概念, 是福克 (1951) 由矿物成熟度引伸到对砂岩结构变化的描述。他把结构成熟度定义为砂不含填隙粘土以及分选和圆化均良好的程度。引入碳酸盐岩中, 同样是代表水力对碳酸盐碎屑磨蚀分选以及对微晶基质冲洗进化程度的认识。

福克的分类既反映了碳酸盐岩的多成因性, 又突出了大部分碳酸盐岩二成性碎屑成因的特点。莱顿 (Leighton, 1962) 的碳酸盐岩分类根据粒屑 (或颗粒, 相当于福克的异化粒) 类型及其与微晶 (或称灰泥) 的比值, 即所谓粒基比进行分类。他的分类具有明显的二元性, 是碳酸盐岩分类定量化的又一尝试。邓哈姆 (Dunham, 1962) 的分类受到广泛的欢迎, 他不强调异化粒的类型

石灰岩的结构分类* (据Folk, 1962)

表 2

灰泥或胶结物	灰 泥 基 质 >2%:				灰泥与亮晶相等	亮 晶 胶 结 物 >2%:		
异化颗粒 (%)	0—1	1—10	10—50	>50		分选差	分选好	磨圆及磨蚀
岩石名称举例	微晶灰岩及 变动微晶灰岩	含化石的 微晶灰岩	稀少的生物 微晶灰岩	密集的生物 微晶灰岩	冲洗差的生 物亮晶灰岩	未分选的生 物亮晶灰岩	分选的生物 亮晶灰岩	磨圆的生物 亮晶灰岩
作者1959年的命名	微晶灰岩及 变动微晶灰岩	含化石的 微晶灰岩	生 物 微 晶 灰 岩		生 物 亮 晶 灰 岩			
类似的陆源岩石	粘 土 岩		砂质粘土岩	粘土质或未成熟砂岩		次成熟的 砂 岩	成熟的砂岩	极成熟的 砂 岩

*原分类中的图例略—编者

和数量,而是突出岩石的填集性质(即矿物颗粒在岩石中分布或聚集的形象)。他根据碳酸盐颗粒(或异化粒)是彼此搭成支架还是彼此分离(前者称为颗粒支架的,后者称为泥支架的),将岩石分成四大类(表3)。他的分类不严格要求含量,却以搭成格架为准。如鲕粒含量在62%可达到颗粒支架;而含很多板状藻和腕足类的岩石中,在颗粒达20~25%时,即可达到颗粒支架。他认为粒状灰岩是高能量环境的产物,泥状灰岩是低能量环境的产物,其它介于以上两类之间。

此外,普拉姆利(Plumley, 1962)等人的分类,并不对具体的岩石进行命名,而是按能量指数划分了代表五种水动力强度的岩石。能量指数是判别岩石能量环境的定量指标,用数字对岩石的成因问题进行定量的分析和解释。其判别依据有异化粒结构(大小、分选和圆度)、矿物成分(方解石、粘

土、碎屑石英)及含量和化石含量、组合、保存情况等。这一分类包括从静水到强动荡水的五个主要类型,即静水沉积(类型I)间歇动荡水沉积(类型II)、弱动荡水沉积(类型III)、中等动荡水沉积(类型IV)和强动荡水沉积(类型V)。实际上他提出的五种能量级相当于碳酸盐岩的微相类型。

近代关于碳酸盐岩的分类虽还未找到一致同意的分类方案,但分类的成因观点和参数更趋向一致。这些分类差不多一致认为、碳酸盐岩可分成三大类,即具碎屑结构的碳酸盐岩(新分类方案的主要对象)、原地(生物的或化学的)碳酸盐岩以及由成岩作用改造的碳酸盐岩。此外,在对具碎屑结构的碳酸盐岩进行分类时,尽量将能反映沉积场所能量的分类参数(如异化粒、微晶基质以及亮晶方解石胶结物)反映到分类中,从而比较直观,使得描述性分类中渗有沉积环境水

碳酸盐岩的沉积结构分类(邓哈姆, 1962)

表 3

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%				
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 Carbonare)

动力条件的解释。对研究这类岩石的储集性能和有利相带越来越显出优越性。

在六十年代末以来，上述碳酸盐岩分类的新观点、新方案很快引入我国。由于国外这些新分类方案在具体命名岩石的含量界限（如“质”及“含”的习惯含量界限）和前后顺序上（一般含量少的在前，含量多的在后），很多不符合我国的习惯。如莱顿的分类，它是含量多的组分放在前面，含量少的放在后面（如骨粒—灰泥石灰岩，骨粒含量多于灰泥）；再如福克分类的含量界限很宽，异化粒>10%就可以命名为异化粒亮晶灰岩，与我国的含量>50%才能定为主要岩石名称的习惯不符合。所以，在我国大多采用按福克或其它作者的成因理解和分类观点（即二分性观点），与本地区特点结合和符合我国习惯的分类方案。在国内流行的二元分类方案有华东石油学院提出的石灰岩的结构分类（表4）和成都地质学院、某些科研单位以及石油部门采用的三元分类方案（表5）。

关于白云岩的分类，由于它的成因较石灰岩复杂，远无石灰岩分类那样系统和严谨。在上述碳酸盐岩分类中，如福克的分

类，已经包括白云岩在内。他把白云岩分为原生白云岩和交代白云岩（石灰岩的白云岩化）两类。原生白云岩的分类命名与石灰岩相同，后者则根据原岩类型和白云岩化程度加以划分。在我国，对白云岩分类也基本上采用这种划分方法，即按原生白云岩的结构特点与石灰岩的命名相同。原石灰岩结构基本上保存的，在原石灰岩命名前冠以“白云岩化”；如原岩结构基本上消失，则按白云岩结晶程度命名，如粗晶白云岩、中晶白云岩、细晶白云岩等。由于白云岩常常牵涉到形成机制，在成因判别上仍存在许多实际困难，其具体命名时，应充分考虑周围共生特点。

三、应用近代碳酸盐岩分类
的野外研究方法

人所共知，近代碳酸盐岩分类是在室内进行大量显微镜研究的基础上提出的。这种分类与传统的分类相比，有较多的优越性，它能否在野外工作时应用，一直是大家关心的问题。通过我们这几年的实践，认为关键在于是否已经接受近代分类所依据的新观点。如果接受了这些新概念、新观点，那么

石灰岩的结构分类（华东石油学院，1977）表 4

		灰泥含量 (%)	颗粒含量 (%)	颗 粒					晶 粒	生物格架
				内 碎 屑	生 物	鱼 而 粒	团 块	粪 粒		
I 颗粒灰泥石灰岩	I ¹ 颗粒石灰岩	10	90	内碎屑石灰岩	生物石灰岩	鱼而粒石灰岩	团块石灰岩	粪粒石灰岩	II 结晶石灰岩	III 礁石灰岩
	含 灰 泥 I ² 颗粒石灰岩	25	75	含灰泥内碎屑石灰岩	含灰泥生物石灰岩	含灰泥鱼而粒石灰岩	含灰泥团块石灰岩	含灰泥粪粒石灰岩		
	灰 泥 质 I ³ 颗粒石灰岩	50	50	灰泥质内碎屑石灰岩	灰泥质生物石灰岩	灰泥质鱼而粒石灰岩	灰泥质团块石灰岩	灰泥质粪粒石灰岩		
	颗 粒 质 I ⁴ 灰泥石灰岩	75	25	内碎屑质灰泥石灰岩	生物质灰泥石灰岩	鱼而粒质灰泥石灰岩	团块质灰泥石灰岩	粪粒质灰泥石灰岩		
	含 颗 粒 I ⁵ 灰泥石灰岩	90	10	含内碎屑灰泥石灰岩	含生物灰泥石灰岩	含鱼而粒灰泥石灰岩	含团块灰泥石灰岩	含粪粒灰泥石灰岩		
	I ⁶ 灰泥石灰岩			灰 泥 石 灰 岩						

石灰岩分类 (按成都地质学院略加修改, 1980)

表 5

颗粒百分数	主要填隙物	经过波浪及流水搬运、沉积的灰岩							生物骨架灰岩	化学及生物化学灰岩
		磨蚀颗粒		加积—凝聚颗粒				三种以上颗粒的混合物		
		内碎屑	生物碎屑	核形石	鱼而粒	团粒	团块			
大于 50	亮晶	亮晶砾屑灰岩 亮晶砂屑灰岩	亮晶生物碎屑灰岩	亮晶核形石灰岩	亮晶鱼而粒灰岩	亮晶团粒灰岩	亮晶团块灰岩	亮晶粒屑灰岩	亮晶珊瑚灰岩 亮晶薄灰岩	石灰华、 钟乳石、 钙质层、 微晶灰岩
	微晶	微晶砂屑灰岩 微晶粉屑灰岩等	微晶生物碎屑灰岩	微晶核形石灰岩	微晶鱼而粒灰岩	微晶团粒灰岩	微晶团块灰岩	微晶粒屑灰岩	微晶层孔虫灰岩 苔藓虫灰岩	
50 ~ 25	微晶	砂屑微晶灰岩	生物碎屑微晶灰岩	核形石微晶灰岩	鱼而粒微晶灰岩	团粒微晶灰岩	团块微晶灰岩	粒屑微晶灰岩	珊瑚微晶灰岩 藻类微晶灰岩	
25 ~ 10	微晶	含砂屑微晶灰岩	含生物碎屑微晶灰岩	含核形石微晶灰岩	含鱼而粒微晶灰岩	含团粒微晶灰岩	含团块微晶灰岩	含粒屑微晶灰岩	含珊瑚微晶灰岩	
<10	微晶	微晶灰岩（或泥晶灰岩）								
重结晶	灰岩	各种灰岩重结晶，按晶粒大小分：粗晶灰岩、中晶灰岩、细晶灰岩、粉晶灰岩、不等晶灰岩								

碳酸盐岩的野外研究方法几乎与研究砂岩和页岩完全一样。首先在岩性的观察描述方面, 除了须用点酸法大致确定方解石和白云石的相对含量以外, 应观察其有无碳酸盐碎屑及碎屑含量, 以初步确定是属于粒屑 (或异化粒) 灰岩或者微晶灰岩, 就像初步观察有无砂粒及其含量多少, 以确定属砂岩或泥岩 (页岩) 一样。然后进一步观察粒屑的类型及各所占的百分含量, 就像观察砂粒中石英、长石、云母、岩屑等各占多少一样。如果不能明确区分, 就统称粒屑, 当其含量达到50%以上, 就可归入粒屑灰岩。关于胶结物和基质的观察, 即便是砂岩, 在野外观察时也较为困难。对碳酸盐岩来说, 可以按整体岩石粒屑含量是否>50%及其致密程度大

致确定。如粒屑含量<50%, 多半是微晶, 若岩石致密、发暗, 则更可这样确定; 如粒屑含量>50%, 有部分或大部分是亮晶方解石胶结物, 是填充在孔隙之间的, 而且颜色较浅。总之, 如果确定是粒屑灰岩以后, 完全可按砂岩的描述方法对碳酸盐岩进行描述。

经研究, 陆源碎屑岩 (或砂岩) 中所有的沉积构造, 都可以在碳酸盐岩中出现, 如层理、波痕、泥裂等。对这些构造无疑需要仔细观察描述。应该指出的是, 在碳酸盐岩中还有一些常见的特殊构造, 如藻叠层构造、生物礁构造以及其它大量的生痕构造 (或称痕迹化石), 特别是藻叠层, 必须与其它生物或无机纹理构造相区别。