

碳酸盐准同生成岩作用分析在层序地 层研究中的意义

杜远生 颜佳新

(中国地质大学 武汉)

〔内容提要〕 碳酸盐准同生成岩作用是当今碳酸盐研究的一个新领域。由于它客观地记录了沉积物沉积之后、埋藏以前的演化历程,因此可以敏感地反映海平面升降变化过程,以帮助识别地层层序和层序界面。本文从准同生成岩序列、成岩作用类型两个方面对陆架边缘体系域、海侵体系域、高水位体系域及 I、II 型层序界面的成岩特征进行了探讨。

关键词 成岩作用 层序地层

1 引言

二次世界大战以后工业复苏对能源资源的需求和西亚碳酸盐地层中超大型油田的发现促使碳酸盐沉积,包括现代碳酸盐沉积领域的巨大进步。60—70年代,碳酸盐沉积各个领域都出现了全新的高水平的研究成果和代表性的专著(如 Ham, 1962; Chilingar 等, 1967; Pray 等, 1965; Bathurst, 1971; Blatt 等, 1972; Milliman, 1974; Wilson, 1975; Cook 等, 1977)。70—80年代,在碳酸盐成岩作用方面也出现了全新的理论体系,摒弃了碳酸盐成岩作用仅仅出现在深埋藏之后传统观点,提出了碳酸盐成岩作用发生于准同生、埋藏乃至后生(次生)阶段,成岩环境和成岩相、成岩阶段和成岩序列等新认识(Chilingar 等, 1967; Blatt 等, 1972; Folk, 1974; Longman, 1980; 叶连俊, 1973; 冯增昭, 1982; 余素玉等, 1983; 贾振远, 1989; 王英华等, 1989, 1991)。在层序地层研究风靡全球的今天,作为碳酸盐沉积、演化重要信息的成岩特征在层序划分、内部构成研究中又将起着重要作用。

2 碳酸盐成岩作用、成岩环境、成岩阶段和成岩序列综述

碳酸盐成岩作用的显著特点之一是成岩作用的时间跨度始于准同生阶段,在表生阶段也有表现,具有明显的阶段性特征(表1);其特点之二是成岩作用类型的复杂性,它不仅包括传统认识的埋藏阶段的压实、胶结、重结晶及交代作用,也包括准同生和后生阶段的溶解、交代、胶结乃至化学沉积作用;其特点之三是不同阶段的成岩作用受成岩环境的物理、化学

① 本文 1994 年 5 月 2 日收稿。

② 国家基础性重大关键项目, 博士生导师基金项目联合资助。

条件控制,因此可以据此划分成岩环境和成岩相,特点之四是碳酸盐通常记录不同演化阶段的成岩序列特征,尤其是准同生阶段的成岩序列特征对恢复海平面变化及与之响应的层序和层序构成是至关重要的。表1综合了各不同成岩阶段的成岩环境和主要的成岩作用类型,它也是碳酸盐成岩作用分析的研究提纲。

有关碳酸盐成岩序列是80年代后期以来研究的一个重要方面,王英华(1988, 1991)等进行了系统总结。所谓成岩序列,提指沉积物沉积之后,经过不同的成岩阶段记录下的在时间序列上的成岩特征。事实上,沉积物并非经由准同生—埋藏—后生这种理想而简单路径演化的,而且不

表1 碳酸盐成岩阶段、成岩环境和主要成岩作用类型

Table 1 Diagenetic stages, environments and types of carbonates

成岩阶段	成岩环境		主要成岩作用类型
准同生早期阶段(沉积之后,未脱离原始水体和沉积原位)	大气淡水成岩环境	淡水渗流带 淡水潜流带	溶解作用 胶结作用(低世代) 交代作用
	混合水成岩环境	淡水-海水混和带	
	海水成岩环境	海水渗流带 海水潜流带	
准同生晚期阶段(沉积之后,埋藏之前因海平面升降使水体性质或水深变化)	海水成岩环境	海水渗流带 海水潜流带	压实作用 胶结作用(高世代) 重结晶作用 交代作用 压溶作用
埋藏阶段	浅埋藏环境 深埋藏环境		
后生(次生、表生)阶段	地表成岩环境	渗水渗流带 淡水潜流带	溶解作用(喀斯特作用) 胶结作用 化学沉积作用(石灰华) 交代作用(去膏化、去云化等)

同的沉积物、不同的沉积成岩环境记录的成岩特征也不尽相同,因此即使同种沉积物也会形成不同的成岩序列网络,例如一套滩相的粒状灰岩,它可以经准同生的海水渗-潜流带的胶结作用到埋藏阶段的胶结、压实乃至压溶作用等,再上升到地表经大气淡水溶解、胶结形成一种成岩序列类型;也可经由海水渗-潜流带的溶解、胶结作用(准同生早期)和大气淡水渗-潜流带的溶解、胶结交代作用(准同生晚期,海平面下降时滩暴露于大气中);再经由深埋藏—后生阶段形成一种新的成岩序列(图1)。事实上,同类的沉积物还可能形成更复杂的成岩路径并记录下更复杂的沉积序列。

3 准同生成岩分析在识别地层层序中的作用

层序地层研究的主要对象为沉积地层,其主要的信息来源是受海平面变化、构造沉降、古气候等因素控制的沉积物的沉积特征和生物特征以及在海平面升降变化过程中的成岩特征。因此准同生的成岩特征是层序地层研究的一个重要方面。同时它比沉积分析和生物分析更具优势的一面在于它不仅记录了沉积物沉积时介质的物理、化学和生物条件,而且还记录了在海平面变化过程中介质物理化学条件及其变化过程。这在认识相对海平面变化及与之相应的地层层序、层序构成时是十分难得的信息。

3.1 准同生成岩作用和体系域识别

一个发育完好的碳酸盐层序通常由高位体系域(HST)、海侵体系域(TST)、陆架边缘体系域(SMST)或低位体系域(LST)构成。大致以海侵体系域顶部或上部最大海泛面为界,之下的陆架边缘体系域(或低位体系域)和海侵体系域是在缓慢—快速海侵过程中形成的。之上的高位体系域则是在海平面相对稳定—海退的过程中形成的。因此,在海平面变化过程中它们有着截然不同的成岩路径,并形成不同的成岩序列。表2是通过贵州独山上泥盆统和

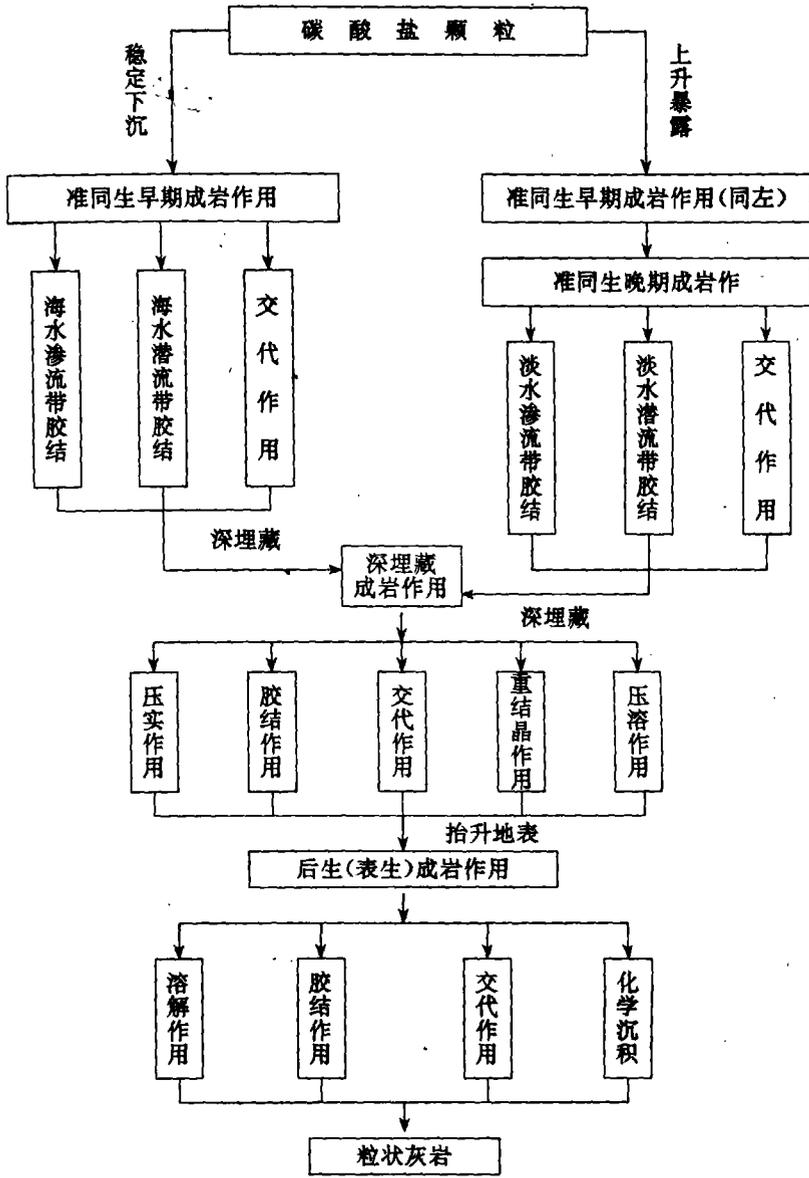


图1 滩相粒状灰岩的两种成岩序列

Fig. 1 Two diagenetic sequences of grainstones in the shoal facies

湖北黄石下三叠统大冶群5—7段的不同体系域的成岩路径和成岩序列特点的总结。

贵州独山上泥盆统包括望城坡组、尧梭组、者王组和革老河组(一部或大部)。它们由碳酸盐缓坡和碳酸盐台地13种沉积相和25种微相组成,构筑了6个层序(杜远生等,1994)。独山上泥盆统准同生成岩作用主要表现为白云岩化、淡水淋滤和充填及胶结作用。如表3所示,陆架边缘体系域和海侵体系域中各相沉积物沉积之后在持续的海平面上升过程(海进)中被海水淹没,故主要表现为准同生早期白云岩化及海水胶结作用。这种白云岩化作用主要发生于潮坪环境中,故主要见于潮上带、潮间带及局限潮下带上部沉积中,且从潮上一潮间一潮下带白云岩化渐弱。而高位体系域则不同,高位体系域各相沉积之后首先经受准同生早期白云岩化,尔后在相对海平面逐渐下降的过程中又经受准同生晚期白云岩化、淡水淋滤和

表2 独山上泥盆统地层层序和海平面变化特征表
Table 2 Stratigraphic sequences and sea-level fluctuations in the Upper Devonian strata in Dushan, Guizhou

阶	组段	层序构成		界面特征	沉积相构成	副层序组	海平面变化规模	
法 门 期	革老河组、 者王组	Sq6	Sb2 HST	界面附近白云岩化、 上覆盖不清	HST, 局限—开放台 地相 (SS)盆地相 TST 开放潮下—陆 棚浅海相	HST 加积型 TST 退积型 SMST 加积— 弱退积型	低频速退 高频缓进 (高幅)	
			TST					
			SMST					
	五里 桥段	Sq5	Sb2— HST	界面附近不规则白 云岩化、见淡水淋滤 晶洞构造	HST 潮坪—局限台 地相 (SS)陆棚相 TST 潮坪—开放潮 下相	HST 加积进 积型 TST, 加积— 退积型	低频速退 高频缓进 (中幅)	
			TST					
			Sb1— HST					
	尧梭组	四方 坡段	Sq4	Sb1— HST	界面上为数十厘米 厚的渣状白云岩, 界面下 白云岩化强烈	HST 潮坪—局限 台地相 (SS)不发育 TST 潮坪—局限潮 下相	HST 加积— 进积型 TST, 加积— 退积型	高频中速海退 高频中速海进 (低幅)
				TST				
				Sb1— HST				
	弗 拉 斯 期	芦家寨段	Sq3	TST SMST	界面之下强烈白云 岩化, 淡水淋滤形成 的晶洞构造发育	HST 潮坪—台地相 (SS)盆地相 TST 开放潮下—陆 棚相 SMST 潮坪—潮下 相	HST 加积— 进积—加积 TST—SMST 退积型	高频缓退 高频速进 (高幅)
				Sb2— HST				
		望城坡组	贺家寨段	Sq2	HST TST SMST	界面之下白云岩化 明显, 界面附近淡水 淋滤的晶洞发育	HST 潮坪—台地相 (SS)陆棚—盆地相 TST—SMST, 潮坪 —潮下相	HST 加积— 进积型 TST 退积型 SMST 加积— 弱退积型
Sb2— HST								
贺家寨段			Sq1	TST Sb1	界面上淡水淋滤的 晶洞发育且顺层分 布, 上接 TST, 缺 SMST	HST 潮坪—台地相 (SS)盆地相 TST 开放潮下相	HST 加积型 TST 退积型	高频缓退 低频速进 (高幅)

充填胶结作用叠加。因此, 不仅潮坪沉积强烈白云岩化, 台地乃至生物层礁也强烈白云岩化从高位体系域下部至上部, 白云岩化逐渐加强, 淡水淋滤的晶洞和裂隙也逐渐增多, 晶洞和裂隙中为淡水方解石充填。从白云岩化和淡水淋滤作用的时序上看, 应为白云岩化在先(沉积物未脱离海水), 淡水淋滤在后(沉积物脱离海水, 暴露在大气中)。

鄂东黄石一带下三叠统为大冶群, 可以分为 10 个岩性段。大冶群的沉积相、古地理及海平面变化已作了详细报导(杜远生等, 1993, 陈林洲等, 1991)。黄石一带大冶群 5—7 段分别由正常潮坪—潟湖—干旱潮坪沉积组成, 它们构筑形成一个完整的地层层序, 其中 5—6 段为陆架边缘体系域和海侵体系域(底为 Sb2), 7 段为高位体系域(顶也为 Sb1)。大冶群第 5 段正常潮坪沉积主要受准同生早期白云岩化影响, 潮上带为具鸟眼构造的白云岩, 潮间带为藻纹层白云岩, 局限潮下带为均质白云质灰岩或灰质白云岩。从潮上带到潮下带白云岩化渐弱。第 6 段以潟湖沉积为主, 多见均质泥状灰岩和蠕虫状灰岩, 准同生成岩作用不明显。第 7 段高水位沉积体系域下部为含雪花状石膏假晶的白云岩, 仍为潟湖相沉积, 向上渐变为具针状石膏假晶的白云岩, 具爬升层理的白云岩和膏溶角砾岩及次生灰岩, 为干旱潮坪沉积,

表3 贵州独山上泥盆统(A)和湖北黄石下三叠统大冶群(5—7段)(B)成岩特征和体系域的关系

Table 3 The relations of depositional systems tracts and diagenetic features of the Upper Devonian strata in Dushan, Guizhou (A) and of Members 5 to 7 of the Lower Triassic Daye Group in Huangshi, Hubei (B)

体系域	沉积相构成	海平面变化趋势	准同生成岩作用路径	成岩作用类型	成岩特点
高位体系域	潮上带 潮间带 局限台地 开放台地 生物层礁	相对稳定 到海平面 下降(海退)	准同生早期 成岩作用叠 加准同生晚 期成岩作用	早期:白云岩化作用、海水 胶结作用 晚期:叠加白云岩化作用、 淡水淋滤溶解作用和胶结 作用	①几乎所有相带的沉积均 发生强烈的白云岩化 ②HST上部淡水淋滤充填 的晶洞发育
陆架海边缘体系域	潮上带 潮间带 局限潮下带 开放潮下带 陆棚 盆地	海平面 缓慢到 快速上 升(海侵)	准同生早期 成岩作用 为主	海水胶结作用、白云岩化作 用(潮间—潮上带及局限潮 下带)	①局限潮下带—潮间—潮上 带,中等到较弱的白云岩化 ②潮下带泥粒灰岩中海水潜 流胶结作用
高位体系域 T _{1dy} ⁷	潮上带 潮间带 泻湖 (蒸发岩 发育)	海平面缓 慢下降(海退)	准同生早期 成岩作用叠 加准同生晚 期成岩作用	早期:白云岩化、石膏化胶结 作用 晚期:强烈白云岩、去石膏 化、膏溶作用	①不同相的地层均强烈白云 岩化 ②去石膏明显 ③层状膏溶角砾岩发育
陆架海边缘体系域 T _{1dy} ⁵⁻⁶	潮上带 潮间带 局限潮下 开放潮下 泻湖 (受限盆地)	海平面持续 上升(海侵)	准同生早期 成岩作用明显	白云岩化作用、海水胶结作 用	①潮上—潮间—局限潮下白 云岩化 ②开放潮下海水潜流胶结作 用

积,总体反映一个进积序列。高水位体系的白云岩化强烈,不同相带均强烈白云岩化,退石膏化作用明显,可见层状的膏溶角砾岩。它们是由于准同生早、晚两期白云岩化作用叠加及晚期去石膏化作用形成的。

3.2 准同生成岩作用和层序界面的识别

层序界面分隔不同层序的分界面,包括Ⅰ类层序界面和Ⅱ类层序界面两种。Ⅰ类层序界面常表现为陆架坡折之上的陆架暴露,伴随Ⅰ类界面的古暴露层通常有强烈的淡水淋滤、溶解、岩溶崩塌及风化残余沉积存在。Ⅱ类层序界面一般仅在沉积滨线坡折向陆一方有明显的陆上暴露,而在向海一方暴露不明显,因此在识别Ⅱ类层序界面时就困难得多。除了副层序组堆积方式的转换面(Ⅰ型层序界面之下高水位体系域为进积型副层序组,界面之上陆架边缘体系域为加积或弱进积、弱退积型副层序组)之外,Ⅰ型层序界面也是一明显的成岩作用转换面,界面之下以准同生早、晚期叠加成岩作用为特征,而界面之上以准同生早期成岩作用为主,晚期成岩作用不明显。其次界面附近常见强烈的溶解晶洞和裂隙,高水位体系域顶

常见淡水或海水的渗流胶结作用。表4为根据独山上泥盆统和鄂东大冶群总结的两种界面的成岩作用特征。一般来说, I型层序界面(Sb1)比较容易识别,它往往伴有古陆上暴露形成古风化壳或古暴露层,如富铁-铅的古风化壳、喀斯特角砾岩和渗滤豆、渣状层、帐篷构造等(魏家庸等,1991)。如贵州独山上泥盆统层序3(Sq3)顶为喀斯特化的角砾岩,层序4(Sq4)顶为渣状白云岩(详见杜远生等,1994)。I型层序界面(Sb2)通常不伴有陆上暴露的古风化壳和古暴露层,但从成岩序列和成岩特征上可以帮助识别。

如前所述,高水位体系域和陆架边缘体系域、海侵体系域具有不同的成岩序列,因此层序界面为准同生成岩序列的特征转换面,如贵州独山上泥盆统,HST为强烈的准同生早-晚期叠加白云岩化,而SMST和TST均以准同生早期白云岩化为主,因此形成界面上下岩性的截然变化。界面之下为各种白云岩,界面之上为潮坪白云岩和潮下灰

岩的交互。同时界面附近(HST顶部)或强或弱地出现淋滤溶解的晶洞。从颗粒灰岩的胶结特征也可以明显显示界面附近沉积物经受的海平面变化的影响。图2是鄂东黄石一带大冶群4、6、8段鲕粒滩的成岩序列。沉积学分析表明,这些鲕粒具规则的同轴纹层,形成于潮下高能动荡水体中。如果这些鲕粒沉积之后遇海平面上升,它们只能受海水潜流胶结作用形成环边状针状方解石(高镁方解石)胶结物。若遇海平面下降使鲕粒滩上升到海水渗流带甚至暴露在大气淡水中,则会出现海水渗流胶结的重力型针状方解石胶结物或淡水渗、潜流胶结形成的重力型或环边状胶结物。黄石一带大冶群第4段顶部鲕粒灰岩多具重力型悬挂式或新月状纤状方解石胶结物,说明一度上升在海水潜流带之上进入海水渗流带。鲕粒灰岩并经受不同程度的白云岩化作用和溶解作用,也反映了海平面相对下降造成鲕粒滩上海水盐度的增加,及鲕粒滩上升到大气淡水带之后又经受的淡水溶解作用。通山枫梓一带大冶群第6段顶部的鲕状灰岩中发育环边状和新月型板状方解石胶结物,并见淡水溶解的晶洞,说明它一度上升到大气淡水潜流带和渗流带,指示层序界面的存在。

表4 两种层序界面的成岩特征

Table 4 Diagenetic features of two types of sequence boundaries

界面	副层序组	准同生成岩序列	成岩特点
I型 (Sb1)	退积型(TST) —— Sb1 ——	准同生早期成岩作用 —— Sb1 ——	白云岩化作用 海水胶结作用 Sb1
	进积型 (HST) 加积型	准同生早期和晚期 成岩作用叠加	HST顶淡水渗流胶结作用、 淡水淋滤溶解作用。界面上 岩溶崩塌胶结作用、风化残 积层(渣状层) HST叠加白云岩化作用
I型 (Sb2)	弱退积积 弱进积-加积 (SMST) —— Sb2 ——	准同生早期成岩作用 —— Sb2 ——	白云岩化作用 海水胶结作用 Sb2
	进积型 (HST) 加积型	准同生早期和 晚期成岩作用叠加	HST顶渗流胶结作用,淡水 淋滤溶解和充填作用 HST叠加白云岩化作用

4 结语

碳酸盐准同生成岩作用是当今碳酸盐领域的一个新的研究方向。由于它真实的记录了沉积物沉积之后、脱离水体埋藏之前沉积物演化历程,因此可以敏感地反映海平面变化过

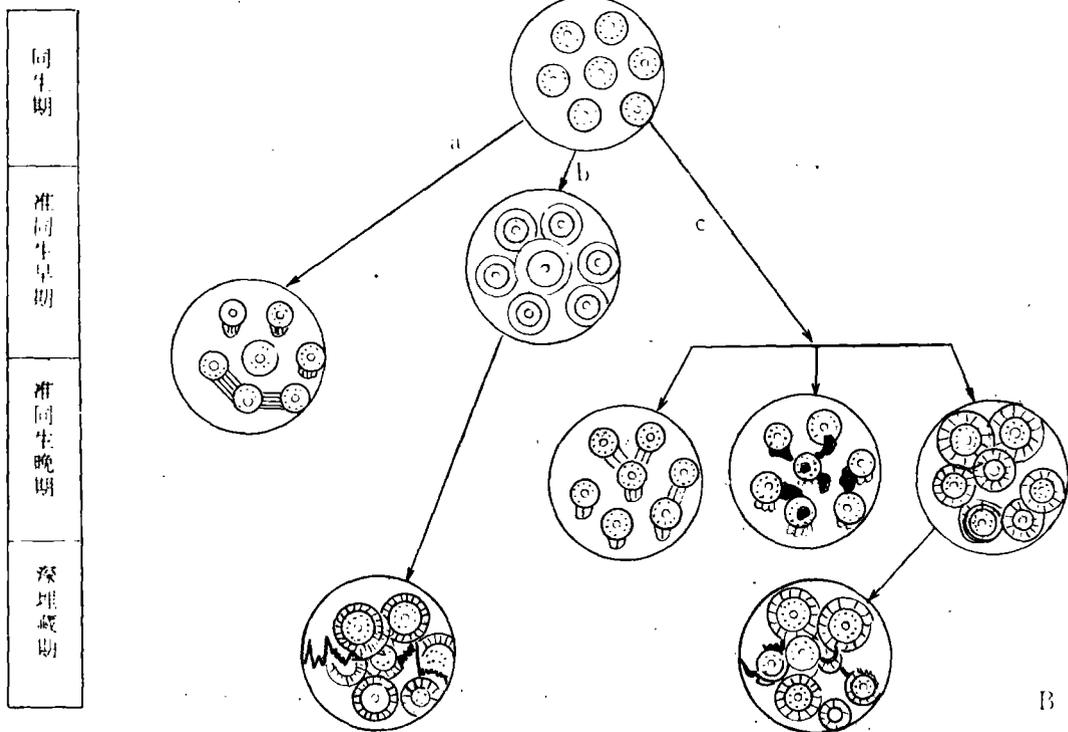
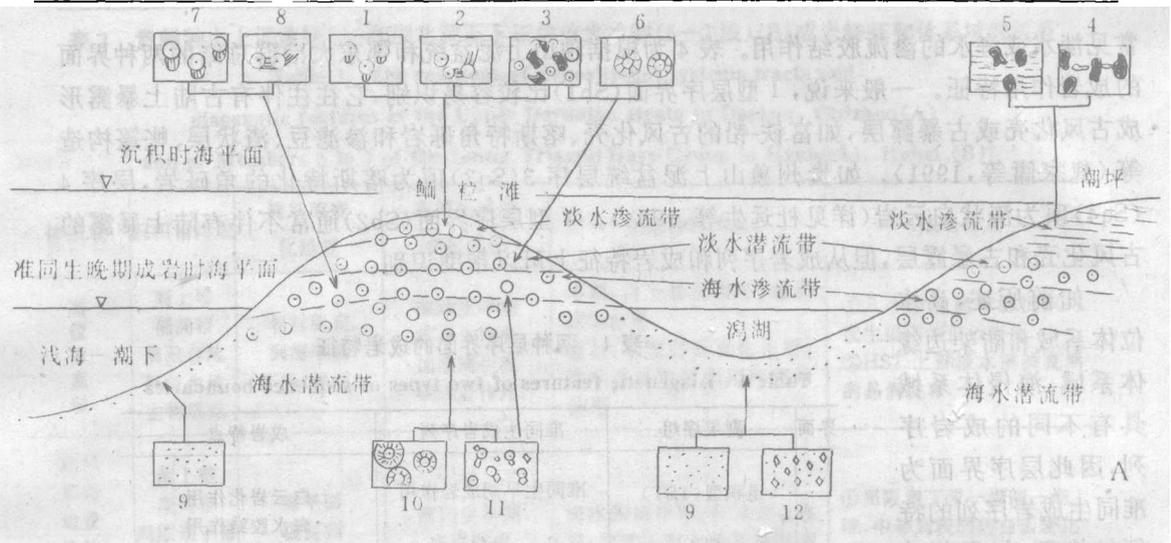


图2 鄂东大冶群成岩相模式(A)和鲕粒滩的成岩序列(B)

a. 伴生 Sb2 响应海平面低幅下降, b. 响应海平面稳定或上升, c. 伴生 Sb1 或 Sb2 响应海平面大幅下降
 1. 悬挂式板状方解石胶结物, 2. 新月型或桥式板状方解石胶结物, 3-5. 鲕粒滩和潮坪的淡水溶解孔洞和充填方解石, 6. 环边状板状方解石胶结物, 7. 悬挂式纤状方解石胶结物, 8. 新月型或桥式纤状方解石胶结物, 9. 灰泥海水潜流胶结作用, 10. 环边状纤状方解石胶结物, 11. 鲕粒滩准同生白云岩化, 12. 灰泥准同生白云岩化

Fig. 2 Diagenetic model (A) and diagenetic sequences (B) of the oolitic shoals in the Upper Triassic Daye Group in eastern Hubei

a is often associated with sb2 in response to the low-amplitude sea-level fall; b in response to the rising or stabilizing sea-level, and c associated with sb1 or sb2 in response to the high-amplitude sea-level fall
 1=hanging tabular calcite cements; 2=crescent or bridge tabular calcite cements; 3-5=voids dissolved by fresh water and filled with calcite; 6=rimmed tabular calcite cements; 7=hanging fibrous calcite cements; 8=crescent or bridge fibrous calcite cements; 9=mud-lime sediments cemented by marine undercurrent; 10=rimmed fibrous calcite cements; 11=penecontemporaneous dolomitization of oolitic shoals; 12=penecontemporaneous dolomitization of lime mud

程。准同生成岩序列、成岩作用类型不仅可以帮助识别和确定沉积体系域,在识别层序界面和确定界面类型时也有重要作用。

参 考 文 献

- 王英华等,1989,华北地台早古生代碳酸盐岩岩石学,地震出版社。
- 王英华等,1991,中、下扬子区海相碳酸盐成岩作用研究,科学技术文献出版社。
- 杜远生等,1994,贵州省独山一带上泥盆统地层层序和海平面变化,地球科学 18(4)。
- 杜远生等,1993,鄂东南地区早三叠世中晚期沉积相和沉积古地理,岩相古地理,13(4)。
- 陈林洲等,1991,鄂东南早三叠世钙质风暴沉积初步研究,岩相古地理,11(3)。
- Blatt, H., Middleton, G. and Murray, R., 1972. Origin of sedimentary rocks, New Jersey, Englewood Cliffs.
- Chilingar, G. V. and Fairbridge, R. W., 1967. Carbonate rocks, Development in Sedimentology, 9A, Amsterdam, Elsevier.
- Folk, R. L., 1974. The natural history of crystalline calcium carbonate, effect of magnesium content and salinity. J. Sed. Petrol. 44(1), 40—53, Tulsa.
- Longman, M. W., 1980. Carbonate diagenetic texture from nearshore diagenetic environment, Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull. 64(4), 461—487, Tulsa.

IMPLICATIONS OF PENECONTEMPORNEOUS DIAGENESIS OF CARBONATES FOR THE STUDY OF SEQUENCE STRATIGRAPHY

Du Yuansheng Yan Jiabin
China University of Geosciences, Wuhan

ABSTRACT

Penecontemporaneous diagenesis considered as a new field of carbonate sedimentology objectively records the post-depositional and pre-burial evolutionary processes and displays more sensitivity of sea-level fluctuations so as to be helpful to the recognition of stratigraphic sequences and sequence boundaries. The present paper describes the diagenetic responses of penecontemporaneous diagenetic sequences and types to the shelf-margin systems tract, transgressive systems tract, highstand systems tract and types I and II sequence boundaries.

Key words: diagenesis, sequence stratigraphy