

中扬子区晚石炭世碳酸盐岩的成岩作用*

梁百和 朱素琳 刘英霞 张柏桥

(中山大学地质学系, 广州 510275) (江汉石油管理局研究院)

摘 要 中扬子区晚石炭世碳酸盐岩的成岩作用主要为白云石化作用、压实—压溶作用、溶解作用, 次为重结晶作用、胶结作用, 局部有去云化、硅化、去硅化、黄铁矿化、膏化和去膏化。岩溶作用不同程度叠加在各类成岩作用之上, 它们可通过成岩组分和组构鉴别; 根据成岩组构、氧碳同位素、微量元素含量和成岩组分的阴极发光特征将碳酸盐岩的成岩环境分为海水、大气淡水、混合水和埋藏等成岩环境。各种成岩环境及成岩作用在碳酸盐岩的成岩历史演化过程中相互叠加, 构成复杂的成岩作用序列和成岩环境组合。

关键词 碳酸盐岩, 成岩作用, 成岩环境

分类号 P588.2

中扬子区晚石炭世碳酸盐岩广泛发育, 分下部黄龙组, 上部船山组。后者上部有一古侵蚀面, 与上复二叠系呈假整合接触。黄龙组分下部白云岩段, 上部灰岩段, 总厚 100 多 m, 是本文的主要研究对象; 船山组分布局限, 仅在鄂东南个别地区见到, 厚 10 多 m。

1 成岩作用类型及成岩组构

1.1 岩石组合

黄龙组碳酸盐岩可划分为三种不同的岩石组合: 下部泥、粉晶白云岩为主, 少量细晶白云岩, 偶含硅质结核; 中部生屑泥晶灰岩或泥晶生屑灰岩, 偶夹亮晶颗粒灰岩; 上部以泥晶灰岩为主, 中夹生屑泥晶灰岩。其中, 下部岩石组合分布稳定, 常具纹层构造, 向上过渡为不具纹层的泥、粉晶白云岩、细晶白云岩并渐变为云化不均匀的斑块状云化灰岩。只有西部松滋县欧家河地区夹多层泥岩、煤线或古风化壳层, 且白云岩含大量陆源碎屑物质。中部与上部岩石组合界限不甚明显。

1.2 成岩作用类型及成岩组构

晚石炭世碳酸盐岩的成岩作用类型主要有: ① 白云石化作用, 可分为准同生云化和准同生后云化。前者成岩组构主要为均匀的泥、粉晶白云石, 时有石膏假象, 极少残留物;

* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期: 1995-03-17 梁百和, 男, 56 岁, 副教授

后者主要为孤立分布的粉、细晶白云石,常具不等粒或‘补丁状’及雾心亮边组构(图版 1-1),有较多残留物,含少量铁白云石、菱铁矿及铁质、有机质等。白云石化作用常受到重结晶、去云化、硅化、黄铁矿化及淡水溶解作用的叠加改造。②压实—压溶作用,见于各类岩石组合中,从压实到压溶,其成岩组构表现为渐进系列。部分砂屑、生屑被压扁、变形,渐变为定向排列。组分相互嵌入等是压实的重要标志,压溶则表现为缝合线。泥晶灰岩因压实相互嵌入继而呈缝合线状接触。云化生屑灰岩中的生屑重结晶后,边缘呈缝合线状(图版 1-2)。一些粗—巨晶灰岩的重结晶方解石晶体边缘亦呈缝合线状。部分重结晶白云石及方解石具波状消光,是埋藏重结晶的产物。陆源石英因压实—压溶而嵌入碳酸盐生屑中。③胶结作用,仅见于黄龙组中、上部的亮晶颗粒灰岩及船山组亮晶核形石灰岩的个别层位中。可分为淡水潜流粒状方解石胶结及海水潜流纤状方解石胶结两种。前者为粒状方解石环边胶结,多数可分出两个世代,一世代为粉—细晶、二世代多为细—中、粗晶方解石,多已重结晶;后者具一向延长的纤状组构,仅见于部分颗粒边缘,其中伴有较多泥晶方解石,并多被重结晶改造。④重结晶作用,白云岩和灰岩的重结晶现象十分常见。可分为均匀重结晶、斑状重结晶和选择性重结晶三种组构。均匀重结晶常见于白云岩中,表现在泥晶白云石重结晶为粉晶、细晶白云石,晶粒基本等大,呈菱面体或不规则形状。晶粒和晶间有泥晶白云石残留物;泥晶生屑灰岩或生屑泥晶灰岩的泥晶方解石填隙物常均匀重结晶为粉晶方解石,极易与亮晶方解石混淆。但重结晶粉晶方解石可嵌入生屑或其它颗粒组分内部,使颗粒边界模糊。斑状重结晶是指分布于泥晶白云岩或泥晶灰岩的“亮晶”白云石或方解石集合体斑块,这些“亮晶”斑块与围岩关系有清晰和模糊两种。选择性重结晶的规律性比较明显。生屑与填隙物比较,生屑重结晶强烈;泥、粉晶填隙物与砂屑、藻屑等组分比较,填隙物通常发生不同程度重结晶。此外,裂隙和次生溶孔充填物重结晶强烈,晶粒粗大。⑤溶解作用,通常叠加并改造其它成岩作用组构,有大气淡水溶解、岩溶溶解和埋藏溶解三种。大气淡水溶解多发生在黄龙组下部白云岩和中部泥晶生屑灰岩的亮晶颗粒灰岩夹层中,这种溶解作用与潮上带及潮间—潮下带的生屑滩、鲕滩、颗粒滩等沉积相带有关。潮上带的准同生或准同生后白云石化作用形成的白云岩极易受到淡水渗流—潜流作用影响。泥晶白云岩斑状重结晶白云石的晶间残留物及个别细晶白云石本身易被淡水溶解,形成各类次生溶孔。斑状重结晶斑块内的次生溶解孔隙和裂隙或其邻近部位,时可见到洁净透明的淡水白云石菱面体。淡水潜流胶结颗粒灰岩的颗粒组分,亦会受到淡水溶解作用影响,粒内次生溶孔发育;埋藏溶解常见于经历重结晶后的细晶白云岩、斑状细晶白云岩和细—粗晶灰岩中,表现为各类溶孔、溶解裂隙发育。

2 成岩环境及主要标志

2.1 成岩环境与岩石学特征

区内晚石炭世碳酸盐岩的成岩环境可分大气淡水、海水、混合水及埋藏四种成岩环境,前三者属近地表成岩环境,后者则为深埋藏成岩环境^[1]。岩石学特征是成岩环境的基本标志,淡水胶结作用、淡水溶解作用、重结晶作用反映大气淡水成岩环境,其岩石学特征是等轴粒状亮晶方解石胶结物、生屑共轴增生,晶体铸模孔、粒内溶孔、晶内溶孔及粒间溶孔、线状溶洞等。白云石化作用、压实作用、局部膏化则指示海水成岩环境,其岩石学特征

是白云岩的准同生云化及准同生后云化、亮晶颗粒灰岩的纤状亮晶方解石胶结物、针状石膏、自生石英. 海水—淡水混合水成岩环境以海水成岩环境标志较为多见. 重结晶作用、压溶作用指示埋藏成岩环境, 其岩石学特征是具波状消光的细—粗晶白云石或方解石、马鞍形白云石、铁白云石, 缝合线构造, 颗粒变形并定向排列、局部嵌入、破碎, 黄铁矿化, 裂隙及缝合线边缘的次生溶孔, 晶粒白云石的次生晶内溶孔、晶间溶孔.

2.2 氧、碳同位素及成岩环境

碳酸盐岩组分的 $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ 值和 Z 值可以判断成岩环境. 由图 1 可以看出, 本区碳酸盐岩形成于海水、淡水(岩溶)、海水→淡水→埋藏、混合水、淡水等 5 种成岩环境. 从投点分布分析, 多数样品落入海水→淡水→埋藏成岩环境区(Ⅲ)及淡水成岩环境区(V), 反映了埋藏和淡水成岩环境对其它成岩环境的叠加和改造相当普遍.

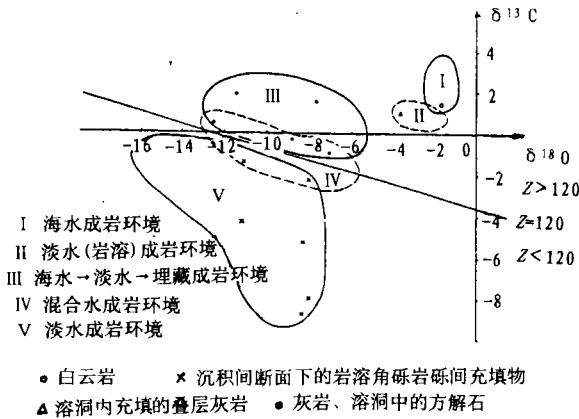


图 1 中扬子区晚石炭世碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ 与成岩环境分区图

Fig. 1 The divide area map of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ and diagenetic environments of late carboniferous carbonatites

2.3 元素特征和成岩环境

将元素分析数据按不同成岩环境取元素质量分数平均值列于表 1. 表中显示 Ba, Bi, Co, Ga, P, Pb, Ti, La 等 8 种元素在淡水成岩环境中含量较高, 尤以 La, Ti, Ba, Ga, Bi 5 种元素最明显, 可视为淡水成岩环境的特征元素; 少数元素如 Mn, Li, Cr 在海水成岩环境中含量较高, 可视为海水成岩环境的特征元素. 其余元素在两种成岩环境的含量近似. Sr/Ba 平均含量比值计算表明, 从淡水成岩环境向海水成岩环境增高.

2.4 不同成岩环境岩石组分的阴极发光特征

成岩过程形成的各种成岩组分和组构虽是区分不同成岩环境的基础, 但由于这些组分和组构因其矿物成分相似而不易识别, 利用阴极发光技术可以区分相似矿物组成的不同组分、生成顺序及判断成岩介质性质. 海水成岩环境泥、粉晶白云岩和泥晶灰岩发光性较弱, 泥、粉晶白云岩主要发紫红色光并有蓝紫色斑块, 后者属斑状重结晶产物. 泥晶灰岩

表1 中扬子区晚石炭世碳酸盐岩不同成岩环境的元素含量

Tab. 1 The content of elements of different diagenetic environments $\times 10^{-6}$

| 元素(样品数) | Ba | Be | Bi | Co | Cr | Cu | Ca | Li | Mn | Mo |
|----------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|
| 海水(10) | 18.59 | 0.76 | 2.74 | 1.67 | 31.35 | 72.19 | 1.81 | 5.02 | 329.42 | <0.006 |
| 海水+淡水(9) | 23.81 | 0.85 | 6.96 | 2.55 | 20.04 | 79.96 | 4.18 | 1.94 | 232.46 | <0.006 |
| 淡水(3) | 47.69 | 0.83 | 7.23 | 2.48 | 24.67 | 71.52 | 7.21 | 3.57 | 73.43 | <0.006 |
| 元素(样品数) | Ni | P | Pb | Sr | Ti | V | Zn | Ce | La | Y |
| 海水(10) | 6.80 | 134.04 | 12.61 | 100.56 | 206.56 | 12.77 | 117.88 | 11.06 | 1.07 | 7.28 |
| 海水+淡水(9) | 10.78 | 134.46 | 15.94 | 145.51 | 133.21 | 20.69 | 120.76 | 14.10 | 0.72 | 8.03 |
| 淡水(3) | 7.32 | 205.30 | 26.04 | 90.04 | 448.03 | 16.43 | 86.35 | 15.64 | 6.27 | 10.30 |

发桔红—紫红色光,而溶解裂隙中充填的结晶方解石呈橙黄色及红褐色,具环带结构。生屑泥晶灰岩的生屑(棘屑)发光暗淡,比一般桔红色—紫红色的泥晶方解石发光性更弱。当海水成岩环境受淡水影响并在溶解裂隙内充填淡水方解石时,发光性稍强。泥晶方解石紫红色,而裂隙充填物则由橙黄色与灰紫色组成环带。泥晶颗粒灰岩的泥晶填隙物受淡水溶解作用后,被淡水方解石充填,亦具环带结构,核心为黑紫色,外包亮黄色环带。受埋藏环境影响的白云石,由于地下水作用,白云石边缘去云化(方解石化),发光性增强,具明显亮黄色环边(图版 I-3)。菱铁矿发光性更差,为深褐色。淡水成岩环境下形成的各类灰岩发光性较弱,但常具环带,泥晶灰岩呈紫红—紫黄褐色,充填裂隙的淡水粗晶方解石呈灰紫、紫蓝色,而构成古石柱的淡水叠层灰岩则呈蓝色及粉白色纹层交替,叠层组构间溶孔发育(图版 I-4)。混合水成岩环境的晶粒白云岩发光性强,呈桔红色,具模糊的环带构造,而在溶孔晶洞充填的白云石菱面体呈黄—桔红色环带,并以桔红色为核心,反映先期形成于海水成岩环境后期受到混合水介质影响。埋藏环境下形成的粗—巨晶灰岩中,粗晶方解石自形程度高,发光性弱,呈褐色。但稍晚形成的方解石则为它形,发光性强,呈桔黄色。

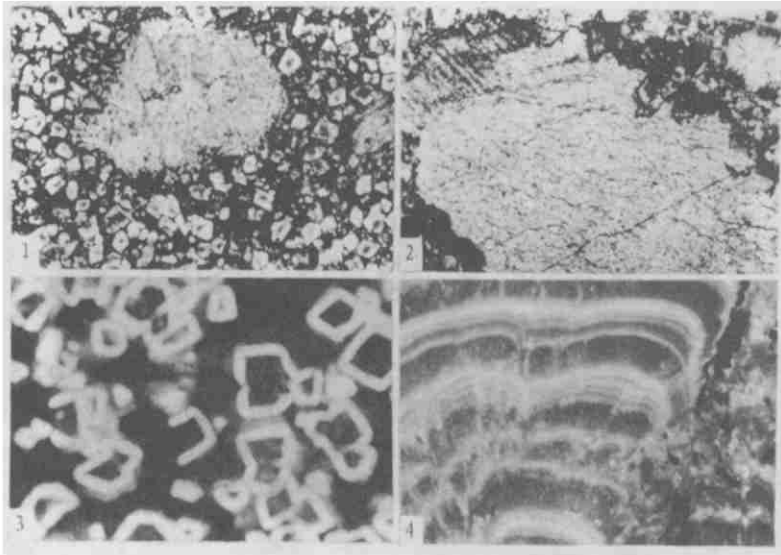
2.5 包裹体特征及成岩温度分析

灰岩及细晶白云岩中的粗晶方解石和石英中的包裹体主要为液态包裹体,其形成温度差别较大,最高均一温度为 223℃,为细晶白云岩缝合线边缘的粗晶方解石,应在埋藏环境下形成。而多数均一温度介于 53~132℃,其中,温度偏低者可能反映淡水成岩环境;而稍高者则为海水成岩环境。用 $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ 含量和伊利石开形指数计算成岩温度与包体测温比较,伊利石开形指数推算的成岩温度^[3]与包体测温近似,为 81~130℃, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ 的计算成岩温度偏低,为 25~87℃,原因可能是分析组分多受到古岩溶影响或为古岩溶作用产物。综合上述,区域碳酸盐岩的成岩温度大多数为(100±20)℃左右。

3 成岩相及成岩段的划分

成岩相是在一定成岩环境下各种成岩作用的物质表现,它是客观存在的地质体,具有一定的几何形态,特定的成岩组构和组分。实际上,许多成岩相不是由一种成岩环境发生的单一成岩作用形成的碳酸盐岩。沉积物进入成岩阶段会经历多种成岩环境,形成多种成岩作用的叠加。成岩相在时间上(纵向)表现为成岩岩性段(成岩段)。表 2 为区域基于剖面的成岩环境和成岩段划分。每一剖面的不同成岩段都有一定的岩石组合、成岩组分和组

构,并属于一定的成岩环境.各剖面成岩段的纵向演化不尽相同,但全区具有明显规律,从老到新为海水成岩环境向淡水成岩环境演化,其间经历埋藏成岩环境叠加.



图版 1

1. 云化泥晶灰岩,白云石菱形体具雾心亮边结构 单偏光 $\times 80$; 2. 泥晶生屑灰岩,生屑重结晶,边缘呈缝线状,单偏光 $\times 80$; 3. 细晶白云岩,白云石具亮黄色环边,阴极发光, $\times 80$ 4. 叠层灰岩,洞穴沉积物,叠层呈粉红色与蓝色交替,阴极发光, $\times 80$

表 2 晚石炭世碳酸盐岩基于剖面的成岩段及成岩环境*

Tab. 2 Diagenetic member and diagenetic environment of basic sections of carbonate rocks

| 宜昌梯子口 | | 松滋欧家河 | | 京山笔架山 | |
|--------|-----------|---------|--------|-------|--------|
| 成岩环境 | 成岩段 | 成岩环境 | 成岩段 | 成岩环境 | 成岩段 |
| 海水—淡水 | 压实—溶解 | 淡水—埋藏 | 溶解—压溶 | 海水、淡水 | 压实—溶解 |
| 淡水 | 胶结—溶解 | 海水—埋藏 | 云化—压溶 | 海水—埋藏 | 压实—压溶 |
| 淡水—埋藏 | 溶解—重结晶—压溶 | | 云化—压实 | 淡水 | 胶结—压实 |
| 海水—淡水 | 云化—溶解 | | 云化 | 海水 | 压实 |
| 海水—埋藏 | 云化—压实 | | | | 云化—重结晶 |
| 蒲圻官塘驿 | | 大冶西野山 | | | |
| 成岩环境 | 成岩段 | 成岩环境 | 成岩段 | | |
| 淡水—埋藏 | 溶解—压溶 | 淡水 | 胶结 | | |
| 淡水—海水 | 胶结—溶解 | 海水 | 压实—重结晶 | | |
| 海水—淡水 | 压实—压溶 | (受淡水影响) | 云化—重结晶 | | |
| 混合水—埋藏 | 压实—压溶 | | 准同生云化 | | |
| 海水 | 云化—重结晶 | | | | |

* 成岩段自上而下由新到老.

4 成岩序列及成岩阶段的划分

4.1 成岩序列

综合成岩段划分可知,中扬子区晚石炭世碳酸盐岩成岩作用纵向演化规律是白云石化作用→压实、压溶作用→局部重结晶作用和胶结作用→淡水溶解、岩溶作用;而成岩环境演化是海水成岩环境→淡水成岩环境,其间经历埋藏成岩环境,后者在更叠中遵循两个方向演化:①海水—埋藏—淡水成岩环境更替;②海水—淡水—埋藏成岩环境更替。在西部边缘松滋欧家河、宜昌梯子口剖面,淡水及岩溶作用影响更大,埋藏环境的成岩标志及与之相邻的海水—淡水环境的成岩标志组合和先后顺序关系更为清楚。东部及东南部如大冶西野山、蒲圻官塘驿剖面与埋藏环境的配套标志较为少见。根据成岩环境和成岩作用叠加的复杂程度,将成岩作用序列区分为简单型和复杂型两种。其中松滋欧家河剖面第2成岩段(云化—压实成岩段)为西部地区复杂型的代表,其成岩序列为:压实→准同生后云化(铁白云石)、局部膏化、碳酸盐化(方解石交代石英)→硅化、去膏化→淡水方解石化→溶解与充填(岩溶作用)→裂隙化、角砾化→黄铁矿化→压实、压溶;蒲圻官塘驿剖面为东部及东南部简单型的代表,白云岩和灰岩的成岩序列亦有一定差别。其中,白云岩的成岩序列为准同生后云化→重结晶→压溶→去云化→淡水溶解;灰岩的成岩序列为压实→重结晶(压溶)、胶结→淡水溶解。

4.2 成岩阶段划分

根据成岩演化规律,晚石炭世碳酸盐岩的成岩作用分为早期、中期和晚期三个阶段。早期成岩阶段包括沉积物脱离沉积介质后进入近地表海水成岩环境和局部淡水成岩环境,代表性成岩作用主要是白云石化作用、胶结作用、压实作用和早期重结晶作用,局部淡水溶解、硅化、膏化、去膏化;中期成岩阶段主要是深埋藏成岩环境,代表成岩作用为压实—压溶作用、埋藏重结晶作用及局部溶解、黄铁矿化、硅化、去硅化,具有相应的埋藏成岩标志;晚期成岩阶段主要是岩石重新回到大气淡水成岩环境,代表性成岩作用为岩溶作用、淡水溶解作用及局部去云化、方解石化、裂隙化、角砾化等。

成岩作用演化序列和成岩阶段除受成岩地质体的成岩环境影响外,还与沉积环境及构造作用关系密切。晚石炭世碳酸盐沉积早期,处于局限台地潮坪的浅水—极浅水沉积环境,在潮上带发生广泛的白云石化作用,局部蒸发量较大的西部地区则有石膏化作用,处于海水成岩环境;及至中期,由于海平面上升及沉积物叠复先后经历埋藏成岩环境;中晚期,海平面下降,再度出现极浅水沉积环境,成岩环境受大气淡水影响渐趋明显;末期暴露地表,古岩溶作用改造、叠加先期成岩环境下所形成的各种成岩组构。晚石炭世晚期的构造抬升最终导致海水退出,先成岩石遭受剥蚀乃至形成风化壳,是区域成岩演化的重要控制因素。

参 考 文 献

- 1 叶德胜. 国外碳酸盐岩成岩作用研究现状. 矿物岩石, 1985, 5(4): 106~114
- 2 王英华. 中下扬子区海相碳酸盐岩成岩作用研究. 北京: 科学技术文献出版社, 1991. 4~14
- 3 方邨森. 沉积岩石学教程. 北京: 地质出版社, 1987. 66~73

Diagenesis of Late Carboniferous Carbonate Rocks in the Middle Yangtze Area

Liang Baihe * *Zhu Sulin* *Liu Yingxia* *Zhang Boqiao*

Abstract The diagenesis of late carboniferous carbonate rocks in the middle Yangtze area were mainly dolomitization, compaction pressure solution and dissolution, secondly recrystallization, cementation and locally dedolomitization, silification, desilification, pyritization, gypsification and degypsification. The various types of diagenesis were superposed, to different degrees, by karstification which could be identified by diagenetic composition, textures and structures. Based on the composition, textures and structures of diagenetics, oxygen and carbon isotopes, contents of minor elements and cathode luminescence of diagenetic components, the diagenetic environments could be distinguished into marin atmospheric fresh-water mix water and burial environment. During the formation and evolution of carbonate rocks, the superposition of different diagenetic environments and diagenetic types formed complicated diagenetic sequence and environmental association.

Keywords carbonate rocks, diagenesis, diagenetic environment

* Department of Geology. Zhongshan University, Guangzhou 510275