

文章编号: 1000-0550(1999)03-0374-09

四川盆地南北缘志留纪 生物礁成岩作用及储层特征^①

张廷山¹ 兰光志¹ S. Kershaw² 边立曾³ 俞剑华³

1(西南石油学院勘探系 四川南充 637001)

2(英国 Brunel 大学地球科学系) 3(南京大学地球科学 南京 210008)

摘要 四川盆地南北缘志留纪生物礁发育、类型多样,有点礁、灰泥丘、层状礁等。它们曾经历了多种成岩作用,其中主要有胶结作用、溶蚀作用、硅化作用以及白云化作用。由于构造运动简单,本区生物礁的成岩作用演化过程是从早期的海底成岩作用,经短时的大气淡水作用就进入埋藏成岩作用阶段,最后达表生暴露阶段。生物礁的原生孔隙以格架孔、体腔孔为主,并发育有不规则窗格孔、粒间孔及晶间孔等,次生孔隙为后期溶孔及溶缝。由于胶结作用发育,使本区生物礁的储集意义减小。

关键词 生物礁 成岩作用 储层 志留纪 四川

第一作者简介 张廷山 男 1961 年出生 博士 教授 沉积学、古生态学和地质微生物学

中图分类号 P588.2 **文献标识码** A

四川盆地南北缘志留纪生物礁发育,类型较多,许多学者曾对其作过不少研究^[1~4]。但这些研究大都局限于沉积环境及礁发育控制因素等方面,而在与油气意义关系密切的礁灰岩成岩作用方面,还从未有过研究报道。由于下志留统的黑色泥岩(如龙马溪组)为盆地内良好的烃源岩系之一,因而对其上的生物礁成岩作用深入研究很有必要。

1 生物礁的主要类型及分布

四川盆地北缘地区地层出露较好,早古生代地层发育,出露的地层有震旦系、奥陶系、志留系、二叠系、三叠系、白垩系以及第四系。

所研究的志留系主要分布于陕西北至川西北广元一线,沿后龙门山大断裂东侧呈北东、南西向条带状分布。地层自下而上可分为 Llandovery 统龙马溪组、崔家沟组、王家湾组以及宁强组下段和 Wenlock 统宁强组上段。

四川盆地南缘所处大地构造位置为上扬子板块中南部、黔中隆起北面,该区早古生代地层发育,出露有寒武系、奥陶系、志留系。地层因区域沉积间断而发育不全,缺失泥盆系和石炭系,二叠系发育完整,直接超覆于志留系之上。

志留纪生物礁发育于王家湾组/石牛栏组以及

宁强组两个层位之中。在盆地北缘地区,王家湾组生物礁沿米仓山、大巴山南坡从城口至广元呈东西向分布,生物礁个体较小,宁强组生物礁发育规模相对比王家湾组生物礁大,造礁生物发育,但是生物礁分布较为局限,目前仅发现其沿国道 108 线两侧从广元宣河至陕西北至宁强呈 SW-NE 向分布(表-1)。在盆地南缘,生物礁主要分布于四川綦江观音桥、贵州桐梓坡渡等地的石牛栏组中,发育规模也相对较小。

盆地南北缘志留纪生物礁类型主要包括点礁、生物层状礁、层孔虫-珊瑚泥丘和凝块岩灰泥丘等诸种,其形态多样,有不对称蘑菇形、透镜形、锥形、叠置形、展翼形和层状等。

笔者所用术语“生物礁”,为上述各种类型的统称,其各种类型的含义如下:

(1)点礁(Patch reef) 呈孤立的丘状、孤峰状或蘑菇状散布于川东南、黔北石牛栏组和川西北宁强组中。造礁生物发育,由横板珊瑚、层孔虫和苔藓虫等组成,形成良好的生物抗浪格架以及由格架构成的空间,骨架生物占 50%以上。礁体底部直径通常不超过 10~100 m,厚度小于 30 m 者居多,最大厚度为 40~60 m。地表露头良好,为本区的特征类型,代表礁体如广元中子礁。

① “油气藏地质与开发工程”国家重点实验室开放基金项目成果之一(PLN97004)

表 1 研究区志留纪地层划分及礁分布

Table 1 The Silurian correlation and reef distribution

△点礁, ○层孔虫—珊瑚灰泥丘, □凝块岩灰泥丘,
◇大型凝块灰泥丘, X 层状礁。

统	川西北	礁	川东南、黔北	礁	代表地点
上覆地层	二叠系		二叠系		
Wenlock					
温洛克统	宁强组	△△	韩家店组		宁强石嘴子 广元宣河 广元中子 广元朝天
兰多维列统	王家湾组	××	石牛栏组	△×	夔江观音桥 桐梓坡渡
	崔家沟组	△○	桥沟组	×○	
	龙马溪组	◇□	龙马溪组		
下伏地层	宝塔灰岩(O ₂)		观音桥组(O ₂)		

(2) 灰泥丘(mud mound) 规模一般比点礁小, 但地貌突起仍十分明显, 大的直径 1~2 m, 小的直径十几—几十厘米, 为页岩所包围。其宏观造礁生物以苔藓虫、层孔虫或藻类为主, 珊瑚次之, 宏观骨架生物约 10% 以下, 生物格架不甚明显, 翼部无礁角砾。内部以灰泥为主, 多散布于川东南夔江、黔北桐梓坡渡石牛栏组以及川西北王家湾组和宁强组下部。

根据造礁生物类型不同, 又可划分为①层孔虫—珊瑚灰泥丘, 其特征为呈穹隆状、蘑菇状, 内部含有层孔虫、珊瑚及藻类等, 不起造架作用, 仅占 10% 左右。②凝块石灰泥丘, 其规模不大, 直径十几至几十厘米, 多分布于广元宣河至宁强一带王家湾组中, 地貌上具隆起, 其内部以藻凝块及泥晶灰岩为主, 不具抗浪的生物格架。它们由宁强一带王家湾组下部灰绿色页岩中所夹的球形泥晶灰岩体(10 cm×40 cm)组成, 内部有具生长状态的小型藻纹结构, 形成格架及格架空间, 其中含有部分生屑, 并见有藻纹的多期生长构造, 此类球形泥晶灰岩体可视为礁头或微型生物礁^[5~6], 它们可相互堆叠, 形成较大的凝块石灰泥丘。

(3) 生物层状礁(biostrome) 在地貌上无明显的隆起, 呈层状或长扁透镜状夹于泥页岩中, 延伸几米至百余米不等。由原地生活的苔藓虫、层孔虫、珊瑚等建造而成, 并含有软体动物、腕足类、棘屑等。

2 生物礁的主要成岩作用及成岩史

2.1 主要成岩作用

本区生物礁形成后经历了多种成岩作用(图

1), 其中, 与形成礁储层关系密切的主要为胶结作用, 其次是溶蚀作用和硅化作用。此外, 虽然本区礁中白云石化作用不强, 但作为一类重要的成岩作用, 白云石化是必须讨论的问题。

2.1.1 胶结作用

四川盆地南北缘志留纪生物礁的胶结作用比较简单, 世代清楚, 胶结物成分主要为亮晶方解石, 仅部分可见硅质。其中, 以海水潜流胶结和埋藏胶结为主, 大气淡水环境下的胶结作用以混合带胶结作用常见。早期海水潜流胶结作用主要是在孔隙中形成第一世代等厚环边纤状、柱状文石或高镁方解石胶结物(图版—1)。第一世代纤状文石胶结物目前均已转化为低镁方解石, 破坏了原始的纤状结构, 阴极发光下, 呈黄—亮黄色或斑状发光, Fe²⁺ 含量低。第二世代胶结物常为等轴细粒或叶片状、刃状, 阴极常为混暗黄或黄棕色, 多具有黄色亮环带(图版—2)。第二世代可发育在第一世代胶结物被溶蚀后所留下的空间处, 为早期混合水成岩环境中的产物, Fe 等元素含量低(表 2)。体现晚期胶结作用的第三、四世代胶结物在生物礁的孔洞中十分发育, 表现为等轴中、粗晶方解石胶结, 它们在阴极发光下, 具有黄色亮环带和不具环带的黄棕色和暗棕色(图版—2)。微量元素分析显示, 此种胶结物 Fe、Ba、Sr 含量高, Zn 含量低。据胶结物中所含包裹体分析, 其均一温度在 80~150 °C 左右(表 3)。按地温梯度推测, 其埋深约在 2000~3000 余米范围内, 与本区粘土矿物演化所推测的深度相当(另文讨论)。同时,

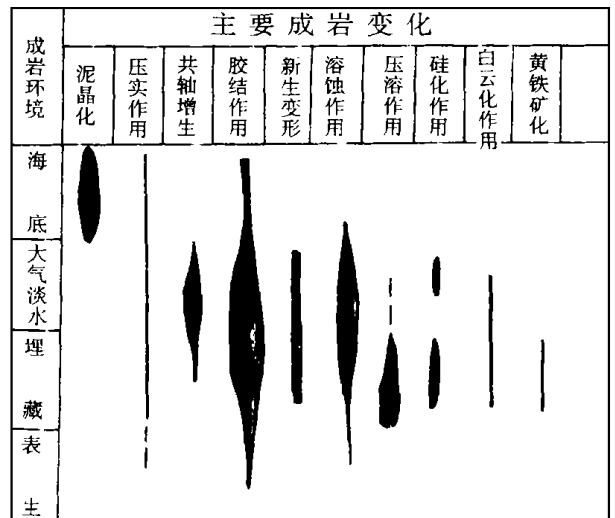


图 1 不同成岩环境下的主要成岩作用分布
Fig. 1 The diagenetic processes distribution in different diagenetic environment

表 2 部分标本和各世代胶结物元素组合特征

Table 2 The elements distribution in different cement generations of some Samples

胶结世代 元素 标本号	第一世代					第二世代					第三世代					第四世代					第五世代									
	SrO	BaO	MnO	FeO	ZnO	SrO	BaO	MnO	FeO	ZnO	SrO	BaO	MnO	FeO	ZnO	SrO	BaO	MnO	FeO	ZnO	SrO	BaO	MnO	FeO	ZnO					
r-6-22											0.173	0.142	0.057	0.435	0.059						0.000	0.000	0.012	0.000	0.055					
Sx-6																0.22	0.03	0.00	0.496	0.00										
SX-1											0.133	0.000	0.875	0.277	0.015	0.063	0.503	0.978	0.025	0.000										
Sx-12	0.043	0.066	0.000	0.128	0.000	0.074	0.000	0.160	0.214	0.000																				
Sx-D-1											0.131	0.000	0.000	0.252	0.000	0.069	0.000	0.025	0.365	0.278										
SxE-3											0.072	0.000	0.174	0.818	0.000	0.076	0.000	0.032	0.000	0.000										
Sxc-F3						0.008	0.000	0.115	0.000	0.026	0.177	0.022	0.077	0.368	0.000	0.062	0.000	0.085	0.257	0.027										
Sx-1	0.008	0.000	0.115	0.000	0.026	0.096	0.000	0.004	0.182	0.000	0.000	0.033	0.207	0.474	0.02															

表 3 包裹体与成岩作用关系

Table 3 Relationship between inclusion and diagenesis

采样点	标本号	成岩结构	包体类型	包体均一温度/℃	气液比/%	包体大小/ μm	测量数/个
广元小屯子	SxW-1	第三世代 粒状方解石	包体为负晶形, 有机包体为主, 伴有少数 H ₂ O 包体, 部分气液包体	93~114	2~4	5~10	4
广元小屯子	SxE-3	第四世代 粗晶方解石	包体负晶形, 以单相(H ₂ O)包体为主, 部分为有机包体和气液相包体, 有的含子矿物	107~146	2~5	5~18	10
广元小屯子	Sx-3F	第三世代 粒状方解石	不规则形、浑圆形及负晶形。H ₂ O 及有机包体为主, 部分气液包体。	80~107	1~2	5~10	7
广元小屯子	SxW-5	第四世代 粗晶方解石	负晶形为主。以单相液体包体(H ₂ O 和有机质)为主, 部分气液包体。	87~120	1~3	5~10	6
广元小屯子	Sx-5	第四世代 粗晶方解石	负晶形。以单相 H ₂ O 包体为主, 部分有机质包体和气液包体。	74~93	1~3	5~10	5
广元小屯子	Sx-7	第四世代 粗晶方解石	单相 H ₂ O 包体及有机质包体为主, 少量气液包体。	93~133	1~3	5~8	6
广元小屯子	Sx-6	构造缝内 粗粒方解石	以不规则形为主, 单相 H ₂ O 包体, 偶见气液包体, 局部有有机包体。	41~74	1	6~8	3
广元小屯子	Sx-3	腕足内粗 粒方解石	负晶形, 单相 H ₂ O 及有机包体为主, 少量气液包体。		1		2
广元朝天	H _上 -5	第三世代 粒状方解石	浑圆状或不规则状, 单相 H ₂ O 包体, 伴有少量有机包体和气液包体, 液体盐度 6.43%~8.54%	84~140	1~3	5~15	10
綦江观音桥	Q-48	第三世代 粒状方解石	粒负晶形。单相(L)包体和气液包体及部分有机包体。液体盐度为 8.54%~10.99%	93~153	1~3	5~8	10

包体分析由成都理工学院矿产系包裹体室完成

胶结物所含包裹体中具有有机质包体和两相气液包体, 说明它们形成于排烃之后。以上证据说明, 第三、四世代胶结物形成于深埋藏成岩环境之中, 根据染色法及微量元素分析鉴定, 许多第三世代胶结物

为铁方解石(图 2, 表 2)。在阴极发光下为棕褐—黑色, 混合液染色为紫蓝色, 是典型的埋藏成岩作用代表^[7], 其 Sr、Fe、Ba 等含量高于泥晶基质。在部分标本中, 可见第三世代胶结物为硅质(图版—3)。一些第四世代胶结物为含铁方解石(表 2)。

此外, 在川南綦江观音桥剖面石牛栏组生物礁以及广元朝天王家湾组生物礁的部分标本中, 尚见第三世代胶结物被表生期淡水溶蚀, 其溶蚀空间再被粗晶淡水方解石胶结物充填。它的主要特征是在阴极发光下呈亮黄色, 微量元素分析显示其 Sr、Ba、Fe 的含量为零。此胶结物可视为第五世代胶结物。

尽管四川盆地南北缘志留纪生物礁内的胶结作用可达五期(五个世代)之多, 但组合形式可以不同, 通常具以下几种成岩胶结作用的演化序列(图 3)

- A 纤状方解石(第一世代)+等轴细晶方解石(第二世代)+等轴中晶方解石(第三世代)
- B 纤状方解石(第一世代)+叶片状方解石(第二世代)+渗流粉砂+等轴中晶状方解石(第三世代)+粗晶方解石(第四世代)
- C 小叶片状方解石(第二世代)+等轴中晶铁方解石(第三世代)+粗晶方解石(第四世代)
- D 等轴粗晶方解石(第四世代)
- E 叶片状方解石(第二世代)+等轴粗晶方解石(第四世代)
- F 纤状方解石(第一世代)+叶片状方解石(第二世代)+等轴粗晶方解石(第四世代)

- (第二世代)+等轴粗晶方解石(第四世代)
- G 纤状方解石(第一世代)+叶片状方解石(第二世代)+等轴中晶方解石(第三世代)
- H 叶片状方解石(第二世代)+等轴中晶铁方解石(第三世代)
- I 纤状方解石(第一世代)+等轴细晶方解石(第二世代)+等轴中晶方解石(第三世代)+粗晶方解石(第五世代)
- J 纤状方解石(第一世代)+等轴细晶方解石(第二世代)+粗晶方解石(第五世代)
- K 纤状方解石(第一世代)+等轴细晶方解石(第二世代)+粗晶石英(第三世代)
- L 纤状方解石(第一世代)+渗流粉砂+等轴中晶方解石(第三世代)
- M 纤状方解石(第一世代)+渗流粉砂
- N 渗流粉砂+粗晶方解石(第五世代)

2.1.2 溶蚀作用

生物礁中的溶蚀作用比较发育, 可见早期海水溶解作用、大气淡水溶蚀作用和埋藏溶蚀作用及晚期暴露地表的淋溶作用。

海水溶蚀作用 常见于由蓝绿藻所形成的暗色泥晶灰岩团块之中, 由一系列不规则的溶孔组成窗格构造^[8](图版—4), 其发育是早期溶解作用的结果, 与藻类腐烂分解形成的有机酸有关。海水溶解作用发生在沉积物沉积之后, 在具有活跃的潜流海

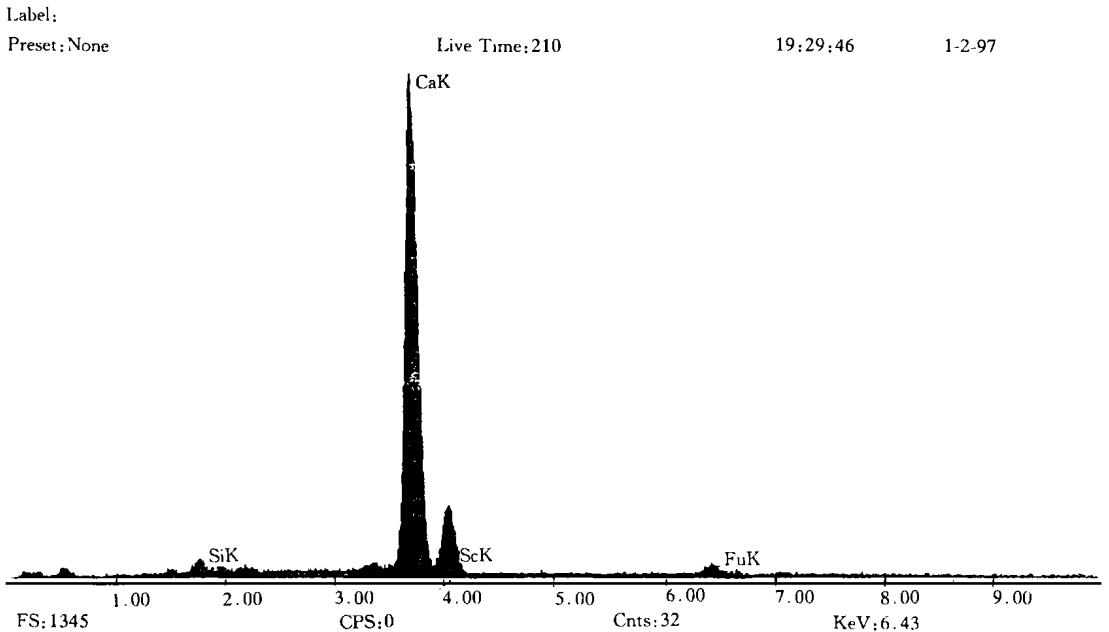


图 2 第三世代胶结物能谱分析

Fig. 2 EADX analysis of the third generation cement

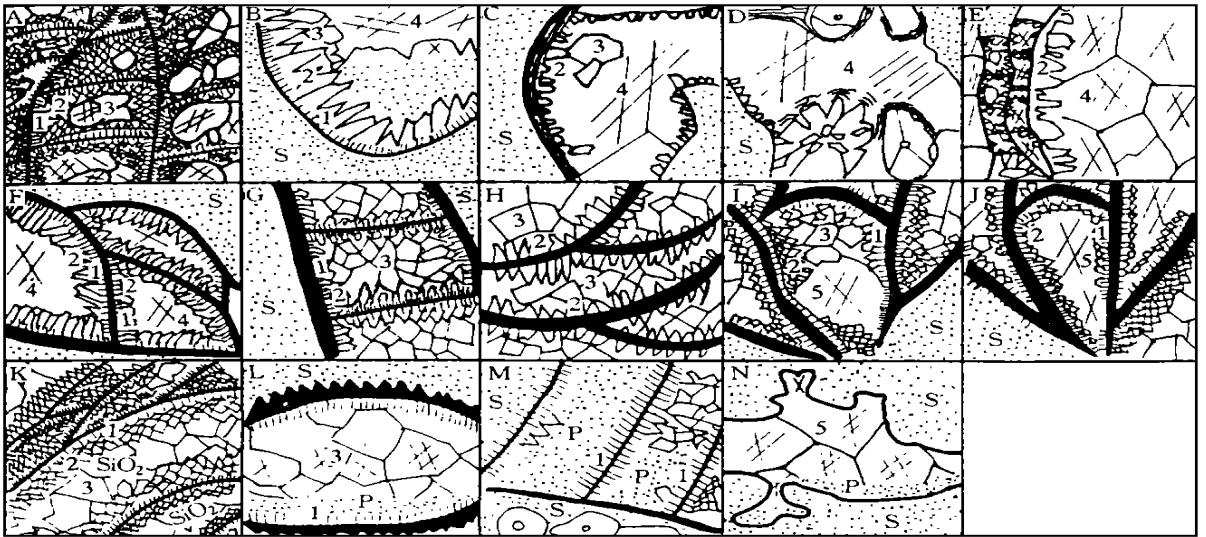


图 3 生物礁孔隙胶结物组合类型

Fig. 3 Cement association in the pore spaces of reefs

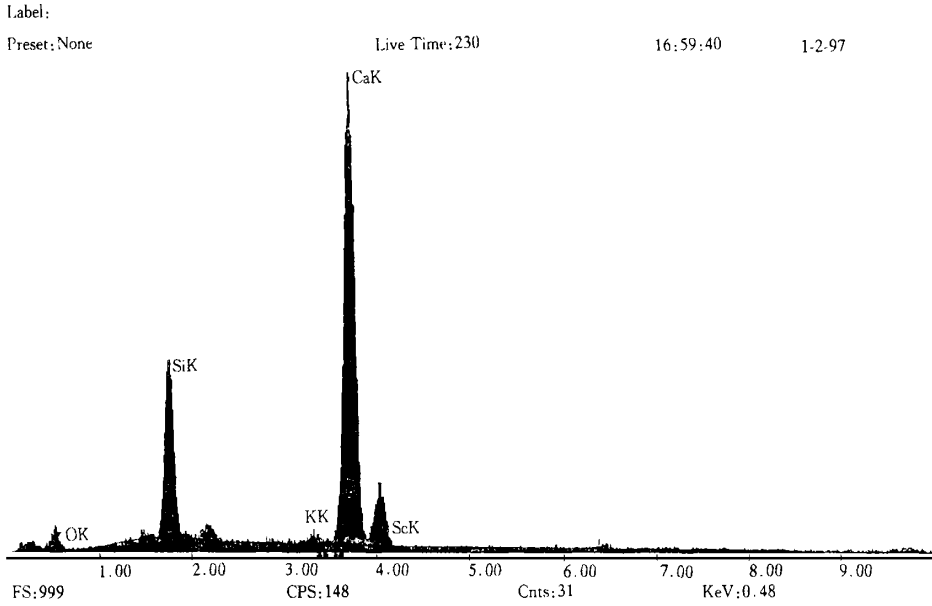


图 4 广元大滩宁强组棘屑的部份硅化能谱分析

Fig. 4 EDAX analysis of silication of crinoidal clasts in Ningqiang Fm, Datan, Guangyang.

水的条件中。

大气淡水溶蚀作用 在大气淡水环境下,由含 CO_2 的大气水引起的溶蚀作用,常形成溶孔、溶缝、铸模孔及粒内溶孔。渗流带的溶蚀作用,造成孔隙间垂向的通道和孔洞下部的渗流粉砂,有的渗流粉砂充填于体内纤状方解石胶结物之后的孔洞中。

埋藏溶蚀作用 埋藏溶蚀常沿缝合线发育,形成定向排列的不规则溶孔或溶缝,并为后期粒状方解石胶结物充填,可见不溶残余物,有的孔内为沥青

所充填。目前普遍认为,深埋溶蚀作用的发生除与压力和温度有关外,更与有机质热演化过程中排烃作用关系密切^[10]。随着有机质成熟生油的同时能生成一定数量的 CO_2 和 H_2O ,其所形成的酸性溶液对碳酸盐岩有较强的溶解性。根据区内有机质演化史及包裹体温度测定分析,有机质成熟期在三叠系沉积后,其埋深为 3000 m 左右,说明上述作用可发生。

晚期暴露淋溶作用(表生溶蚀作用) 该作用在

本区生物礁中不太发育, 典型的代表为构造裂缝的淋溶扩大, 以及对埋藏期胶结物的溶蚀。

2.1.3 硅化作用

硅化作用在盆地南北缘有一定的差异, 北缘的硅化作用主要见于广元朝天火焰山王家湾组礁中, 而在南缘的石牛栏组及桥沟组礁内均可见及。在生物礁中, 硅化作用具明显的选择性, SiO_2 主要交代生物骨骼(珊瑚、层孔虫、棘屑等)(图版-5, 图 4), 或在生物体腔孔内, 充填于早期纤状及叶片状方解石胶结后留下的孔隙内, 甚至充填于粒状方解石未胶结满的剩余孔隙中并与粒状方解石相互穿插。

硅化作用的发生, 主要与成岩环境的水体介质性质有关。一般普遍认为, 在大气淡水环境中, 生物有机体分解会产生有机酸, 在其周围形成弱酸性环境, SiO_2 常围绕生物骨骼聚集, 并交代生物骨骼。而充填于早期方解石胶结之后剩余孔隙中的 SiO_2 , 则多形成于埋藏成岩环境之下, 有机质在埋藏热演化过程中所形成的有机酸, 可造成局部酸性环境, 促使 SiO_2 沉淀。交代生物骨骼的硅化作用见于广元朝天火焰山王家湾组潮坪沉积之上的上部生物礁体中, 而充填于孔隙中的硅化现象多发生在下部礁体之中。

由于硅化作用常堵塞孔隙, 对储层的储集性能起破坏作用。

2.1.4 白云石化作用

与其它礁相比, 志留纪生物礁中, 白云石化作用不发育, 野外很难见到, 镜下有所发现, 但分布也较局限。川西北地区仅分布于王家湾组生物礁中, 在广元朝天火焰山生物礁内可见及; 川南、川东南白云石化作用亦几乎仅见于桥沟组生物层状礁内。根据镜下观察, 白云石晶体常常呈星散状或镶嵌状集合体, 以细晶为主, 自形一半自形, 表面常较污浊, 或雾心亮边发育, 根据其特征分布, 可分出以下几种类型:

①细晶白云石, 具自形晶体和由去白云石化作用引起的方解石化核心, 此类白云石分布与具硅质交代的珊瑚、海百合处于同层, 主要见于广元朝天火焰山王家湾组潮坪碳酸盐沉积之上的上部礁体之中(图版-6)。

②分散于泥晶基质中的中-细晶白云石, 晶体自形一半自形, 具雾心亮边(图版-7)。阴极发光下显示明显的环带构造, 中心桔黄色, 向外转变为褐色, 最外环为棕黄红色。此类白云石主要分布于广元朝天火焰山王家湾组潮坪碳酸盐沉积之下的下部

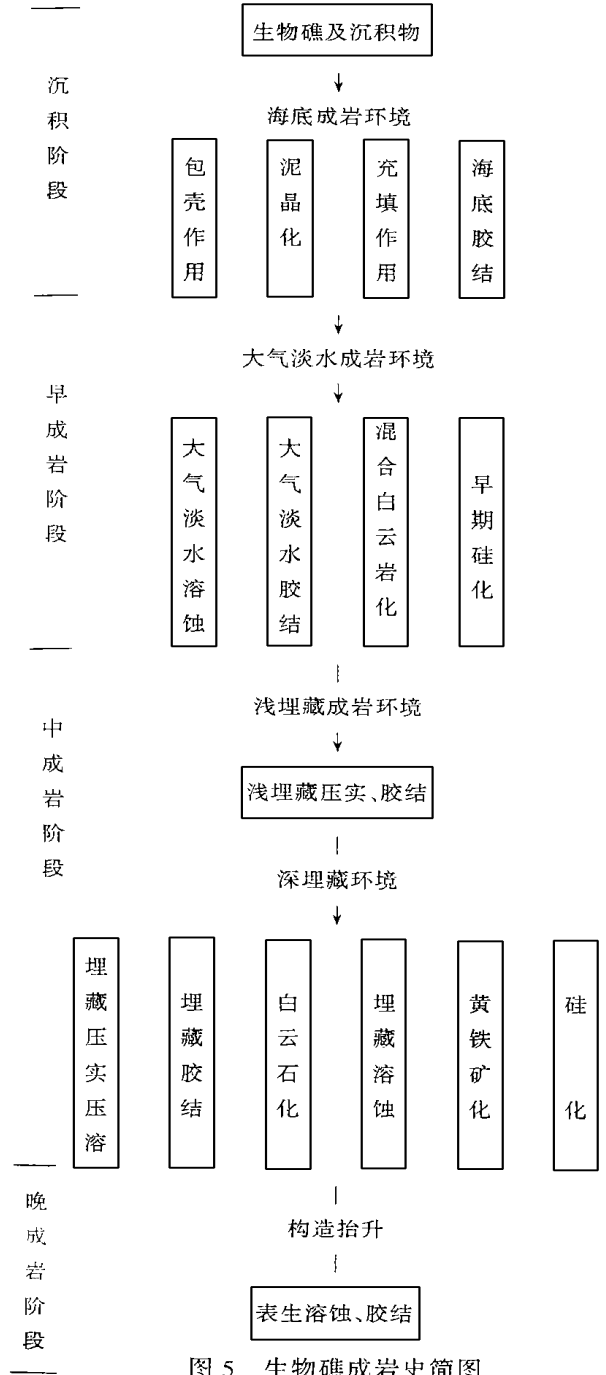


图 5 生物礁成岩史简图

Fig. 5 The history of reef diagenesis

礁体中。

③沿缝合线分布的细晶白云石, 主要见于广元朝天火焰山下部礁体及綦江观音桥桥沟组生物层中。

④具黑、褐色铁质边缘的铁白云石, 晶体多半为半自形, 少数自形, 以交代泥晶基质为主, 多呈斑状不连续分布。主要见于广元朝天火焰山下部礁体和綦江观音桥桥沟组生物层之中(图版-8)。

以上四种白云石类型, 形成于不同的成岩环境中, 类型①与早期硅化相伴, 都分布于潮坪沉积之上, 易遭受大气淡水的影响。当生物礁沉积后, 即在海水—淡水混合带中形成混合白云岩化。当淡水影响逐渐加强时, 会将 Mg^{2+} 带走, 产生去白云石化作用, 造成混合白云岩的钙化(方解石化)核心。类型②—④都为与埋藏成岩作用有关的白云石。在地下深埋的条件下, 由压溶作用形成的富 Mg^{2+} 粒间水, 以及在成岩过程中蒙脱石等粘土矿物转化为伊利石时析出 Mg^{2+} 的作用, 都有利于白云石化, 形成具雾心亮边及环带的自形白云石(埋藏白云石), 有的沿缝合线分布(调整白云石化)^[9~10]。其中铁白云石(类型④)与铁方解石都为深埋成岩环境的典型代表, 其阴极发光的发光性差。

2.2 成岩史

根据成岩作用特征分析, 研究区生物礁所经历的成岩环境可分为: ①海底成岩环境; ②大气淡水成岩环境; ③埋藏成岩环境(浅埋藏成岩环境和深埋藏成岩环境); ④表生成岩环境。在不同的成岩环境中又具有不同的成岩作用(图 2)。

生物礁沉积之后, 首先经历海底成岩环境的作用, 产生泥晶化作用、纤状方石及高镁方解石胶结作用等。随着局部的海平面下降, 生物礁进入大气淡水成岩环境中, 产生局部的硅化作用及白云化作用(混合带)以及叶片状和刃状方解石胶结(混合带), 并见有渗流粉砂充填(淡水渗流带)。在此之后生物礁迅速进入埋藏成岩环境, 形成晚期硅化、埋藏白云化、压溶及埋藏溶蚀作用等。进入表生期之后, 主要见构造裂缝充填、溶蚀充填等现象(图 5), 但不明显。

3 储层特征及孔隙演化

生物礁的原生孔隙以骨架孔、体腔孔为主, 在灰泥丘以及生屑滩中则分别发育有不规则窗格溶孔和粒间孔、晶间孔等。次生孔隙以受过后期改造的溶孔、溶缝为主, 并伴有少量构造缝。

这些生物礁孔隙在成岩过程中, 胶结作用形成了十四种胶结组合类型(图 3)。估计早期第一及第二世代胶结物充填了孔隙的 20%~65%。在进入埋藏成岩环境后, 当埋深达到一定深度时, 沉积有机质因埋藏热演化而成熟, 开始排烃。此时的孔隙为“聚烃期孔隙”, 估计可占原残余孔隙体积的 30%~95%, 它们都被埋藏环境的胶结物所充填。

本区志留纪生物礁沉积之后, 处于浅埋藏成岩环境下达一亿多年, 孔隙中以早期的方解石胶结物充填为主, 残留孔隙占 30%~70%, 有机质未成熟。至二叠纪之后, 本区生物礁埋藏深度迅速增加, 达 3000 余米, 进入深埋藏成岩环境, 有机质成熟, 开始排烃(胶结物中具大量烃类包体), 但此时胶结物几乎充满了所有残余孔隙, 仅部分沿缝合线的溶蚀空间具有微量的储集性(图 6)。后期构造抬升, 使生物礁产生一些裂缝并局部发育表生期淡水溶蚀—胶结作用。

4 结论

- (1)本区生物礁类型较多, 沿四川盆地南北缘分布广泛。
- (2)在其成岩过程中, 对储层具有重大影响的成岩作用主要为胶结作用及溶蚀作用。
- (3)由于构造运动简单, 本区生物礁的成岩作用演化过程是从早期的海底成岩作用, 经过短时间的大气淡水作用进入了埋藏成岩阶段, 最后达到表生暴露阶段。生物礁内的孔隙空间在埋藏成岩作用阶

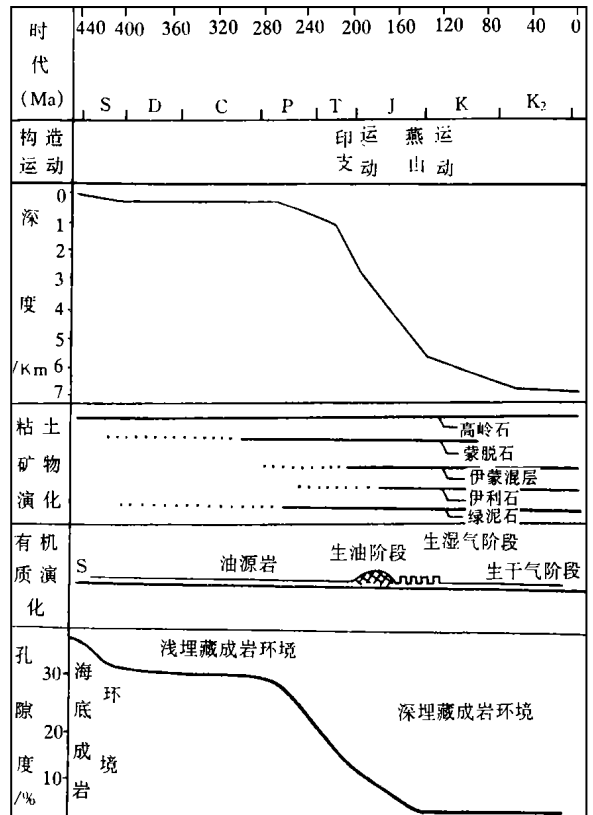


图 6 四川盆地早志留世生物礁“四史”组合

Fig. 6 The model of Early Silurian pore space evolution and tectonics in Sichuan Basin

段基本上都被方解石胶结物所充填, 直接影响了生物礁的储集性。

(4) 生物礁的原生孔隙类型以格架孔、体腔孔为主, 泥晶灰岩与颗粒灰岩发育有不规则的窗格溶孔、粒间孔、晶间微孔等。次生孔隙为后期溶孔及溶缝和构造缝。但是由于本区生物礁的胶结充填作用发育, 使生物礁的储集意义减小。

参 考 文 献

- 1 丘金玉. 川北广元及陕南宁强兰多维列世生物岩礁[J]. 古生物学报, 1990, 29(5): 566~577
- 2 张廷山, 兰光志, 高卫东等. 中国川西北地区志留纪生物礁[M]. 成都, 成都科技大学出版社, 1994. 101
- 3 张廷山, 兰光志, 陈晓慧等. 川西北地区早志留世陆源碎屑——碳酸盐混积缓坡[J]. 沉积学报, 1995, 13(4): 27~36

- 4 万云, 张廷山, 兰光志等. 川东南——黔北地区志留纪生物与古环境演化[J]. 沉积学报, 1997, (增刊), 106~113
- 5 方一亭, 边立曾, 施贵军等. 江西玉山县王家坝晚奥陶世三衢山组点礁发育特征及群落研究[J]. 南京大学学报, 1993, 29: 670~677
- 6 Krainer K. Anthracoporella Mounds in the Late Carboniferous Auernig Group, Camic Alps (Austria)[J]. Facies, 1995, 32: 195~214
- 7 张继庆, 李汝宁, 官举名等. 四川盆地及邻区晚二叠世生物礁[M]. 成都: 四川科技出版社, 1990. 96~98
- 8 Freitas T, Ulrich Mayr. Kilometre scale microbial in a rimmed carbonate platform succession, Arctic Canada; new insight on Lower Ordovician reef Facies[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1995, 43(4): 407~432
- 9 黄志诚, 杨承运, 孔庆有等. 白云岩类型及孔隙性[A]. 见: 王英华主编. 中、下扬子区海相碳酸盐岩成岩作用研究[C]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991. 220~226
- 10 王英华, 杨承志, 张秀莲等. 碳酸盐岩成岩作用[A]. 见: 冯增昭等著. 中国沉积学[C]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 199~237

Silurian Reef Diagenesis and Reservoir Characteristics on North & South Margins of Sichuan Basin

ZHANG Ting-shan¹ LAN Guang-zhi¹ S. Kershaw²
BIAN Li-zeng³ YU Jian-hua³

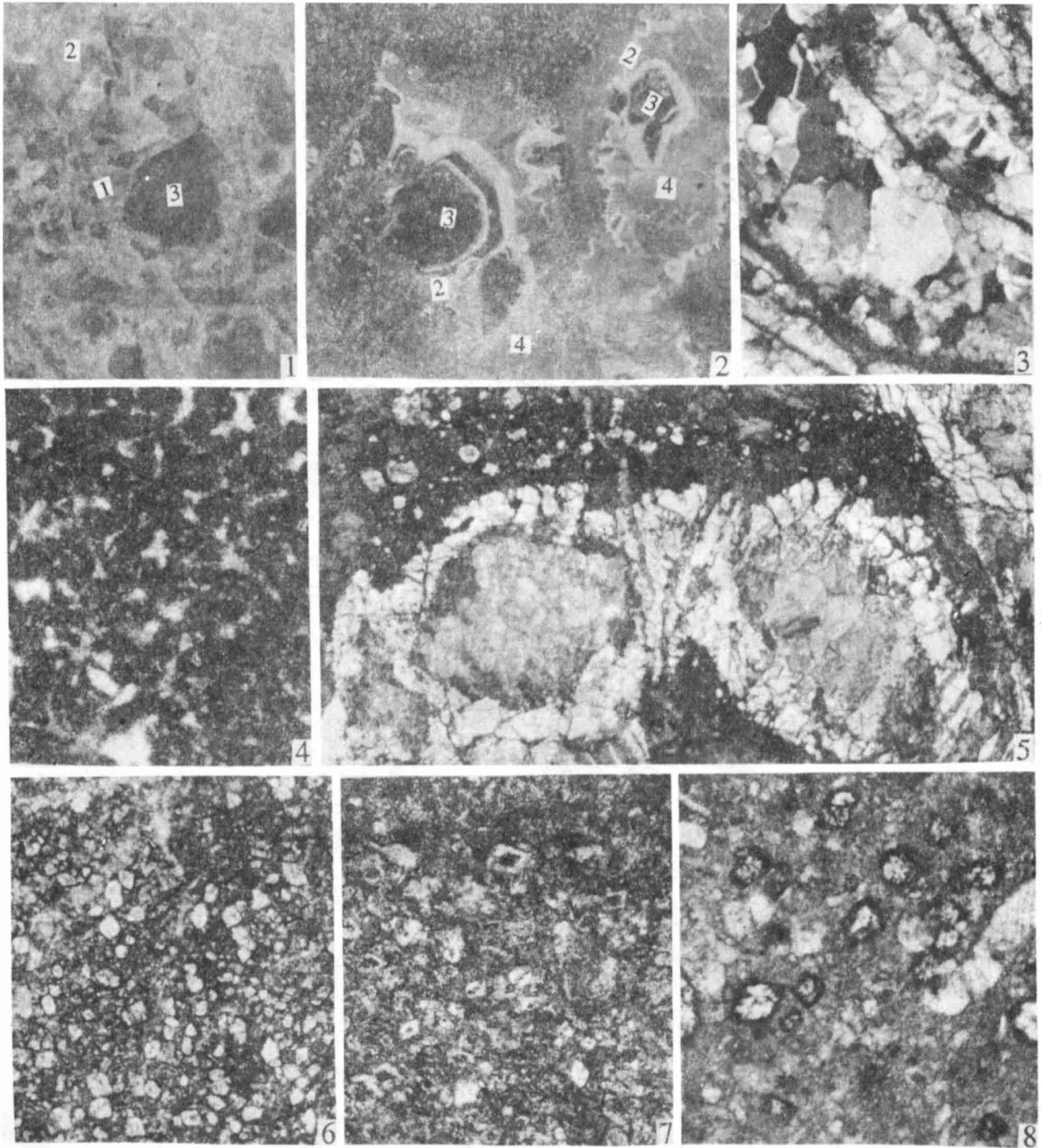
1 (SW Petroleum Institute Nanchong Sichuan 637001) 2 (Brunel University UK)

3 (Department of Geoscience Nanjing University, Nanjing 210008)

Abstract

Having patch reefs, mud mounds and biostromes, the reef types are various in Silurian strata on the north & south margin of Sichuan basin. Owing to the simple regional tectonic movement, the diagenesis, process of the reef carbonate was "progressive diagenesis" which show that the process was from syngensis, short time fresh water influence get have strongly influence on the reef limestones. Among them, the cementation, corrosion, silicification and dolomitization are the most important. During the burial diagenesis period, the pore spaces in the reefs were filled by calcite cements with multi-generations. The reservoir capacity of the reefs decreased because of the weak epidiagenesis influence. The organisms skeletons have the strong influence and reflection to the diagenesis. The original pores and fractures of the reef limestones are mainly skeleton pores and body cavity with some fenestrae in the mudstones and thrombolites. Some intergranular pores and inter-spar crystal pores are in the grainstone. The secondary pores and fractures are epidiagenetically dissolved and corroded cavities and fractures well as structural fractures. According to the clay mineral thermal evolution and inclusions analysis, the period of primary migration of hydrocarbon closed to the burial diagenetic period of the reefs, which was about in the Early Triassic. There were at least two times hydrocarbon migration traces in the reefs primary migration happened in Early Triassic and secondary migration was about the period of Himalayan orogeny. Because of the strong cementation, the pore spaces in the reef reservoirs derased.

Key words reef diagenesis reservoir Silurian Sichuan basin



图版说明 1. 珊瑚体腔中, 第一世代胶结物呈等厚环边纤状, 阴极发光下呈亮黄色; 第二世代胶结物呈等轴细粒状, 第三世代为等轴中粒状。× 25, 阴极发光, 綦江石牛栏组, 标本号F-b-22; 2. 第二世代方解石胶结物为叶片状, 具亮边, 棕色; 第三世代胶结物为暗色等轴粒状晶铁方解石, 具亮边; 第四世代为暗黄色粗晶方解石。× 63, 阴极发光, 广元中子小屯子宁强组礁, 标本号S_xE-3; 3. 珊瑚体腔中, 第三世代胶结物为石英, 呈等轴状。正交偏光, × 5, 广元朝天火焰山王家湾组, 标本号H_下-2; 4. 窗格构造, 单偏光, × 25, 广元中子小屯子宁强组礁, 标本号S_x-1; 5. 硅质交代珊瑚壁(Halysites); 自形的细晶白云石交代基质, 具雾心。单偏光, × 25, 广元朝天火焰山王家湾组, H_下F6-1; 6. 细晶白云石, 晶体自形。单偏光, × 25, 广元朝天火焰山王家湾组, H_下R-4-1; 7. 白云石晶体, 自形及半自形, 具雾心亮边, 单偏光, × 63, 广元朝天火焰山王家湾组, H_下-7; 8. 铁白云石晶体, 自形及半自形, 具黑色铁边, 单偏光, × 63, 綦江桥沟组, S_{1q}r-10。