

四川盆地古生代生物礁滩特征及发育控制因素

张廷山 姜照勇 陈晓慧

(西南石油大学, 四川 成都 610500)

提要: 在古生代, 生物礁从老到新主要发育在早寒武世、早志留世及晚二叠世地层中。地理分布上, 它们分别产于四川盆地北、东北缘大巴山、米仓山地区(早寒武世礁)、四川盆地南北缘(早志留世礁)以及鄂西渝东、川东北地区(晚二叠世礁)。早寒武世礁滩组合包括古杯礁、灰泥丘及鲕粒滩, 造礁生物为古杯、蓝藻类微生物, 附礁生物有三叶虫、腕足类、海百合及海绵等。由于受海平面波动的控制, 生物礁具有旋回性, 并从西向东, 层位逐渐抬升。早志留世礁有点礁、灰泥丘及层状礁等, 其分布受古陆影响的陆源碎屑-碳酸盐缓坡的控制, 也与海平面波动有关。晚二叠世生物礁有点礁、台缘礁及灰泥丘, 其分布也受古地貌格局和海平面波动的控制。

关键词: 生物礁; 发育与分布; 早古生代; 四川盆地

中图分类号: P588.24*8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)05-1017-14

四川盆地是上扬子板块上一个菱形构造兼沉积盆地, 也是一个重要的含油气盆地, 其面积约为 $19 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。周边多以深大断裂与邻区分界。印支期盆地具有锥形, 后经喜马拉雅期强烈的压扭性断褶活动, 形成现代盆地的构造面貌。盆地具有明显的菱形边框, 这反映了上扬子准地台内呈菱形展布的深断裂的演化, 控制了四川盆地的形成和盆地内断褶构造的发展。盆地自古生代至中三叠世末具有稳定的大地构造特征。早古生代期间, 其构造演化以拉张作用为主, 加里东运动使四川盆地抬升成陆, 大部分地区露出水面, 遭受较长时间的剥蚀, 大多数地方缺失泥盆系至石炭纪沉积。在古生代, 生物礁从老到新主要发育在早寒武世、早志留世及晚二叠世地层中(龙门山推覆体有泥盆纪生物礁分布, 本文不做讨论)。地理分布上, 它们分别产于四川盆地北、东北缘大巴山、米仓山地区(早寒武世礁)、四川盆地南北缘(早志留世礁)以及鄂西渝东、川东北地区(晚二叠世礁)(图 1)。各时代生物礁的发育特征及其控制因素既有不同, 又有部分相似的规律。

1 早寒武世生物礁、滩

1.1 礁滩分布

大巴山、米仓山南缘属上扬子地台的北缘部分, 在米仓山、大巴山南缘地区的陕南南郑、南江、西乡、镇巴、紫阳和城口等地, 寒武纪为陆棚开阔台地沉积环境(图 2), 早寒武世时, 从下而上沉积了筇竹寺组、仙女洞组、阎王碛组和石龙洞组, 凝块石灰泥丘、礁滩主要发育于仙女洞组中(镇巴以西), 礁滩组合的厚度自北西向东南呈减薄的趋势。其特殊的大地构造背景和相应的沉积环境, 使该区古生代生物礁滩都较发育, 主要产于碳酸盐台地边缘相带环境中, 分布于陕南南郑、西乡、镇巴、紫阳等地^[1]和大巴山、米仓山南缘的四川南江一带^[2]。研究区礁滩层位自西向东有升高的趋势, 在镇巴以西, 礁滩发育于仙女洞组, 在镇巴以东则发育于天河板组中(表 1)。

1.2 礁滩类型及特征

1.2.1 礁滩类型

研究区内生物礁滩的主要类型有兰藻—古杯

收稿日期: 2008-03-31; 改回日期: 2008-06-23

基金项目: 四川省重点学科建设项目基金(SZD0414)资助。

作者简介: 张廷山, 男, 1961 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 从事岩相古地理、储层地质等研究; E-mail: zts_3@126.com。

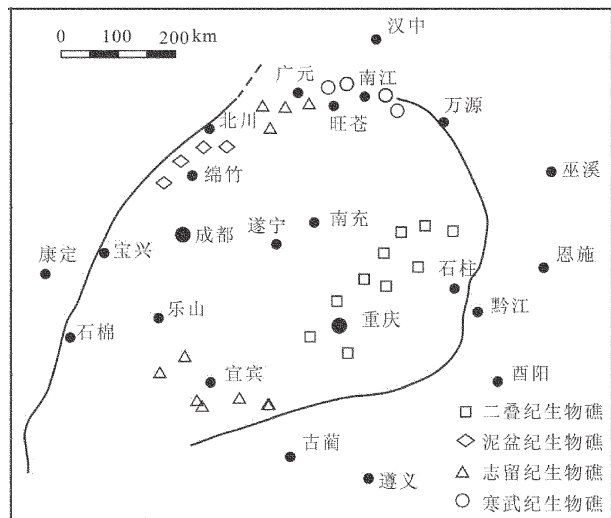


图1 四川盆地古生代生物礁分布

Fig.1 Distribution of Paleozoic reefs in Sichuan basin

礁、凝块石灰泥丘、核形石生物层、生屑滩和鲕粒滩。
 兰藻-古杯礁：主要分布于四川南江沙滩及杨坝一带，规模较大，在地貌上呈长扁透镜体状，横向上可延伸达几十米，在纵向上具3~4个发育旋回，总厚度30~40 m，其中，单个发育旋回的厚度为5~10 m。礁体内生物发育，由古杯、兰藻等造架生物和海百合、腕足类、三叶虫等附礁生物组成，形成较好的生物礁格架，造架生物可达30%~40%。兰藻-古杯礁各旋回的上部常见呈层状分布的核形石生物层。此类礁体为本区的特征类型。

凝块石灰泥丘：主要发育在南江柳湾一带，其规模比兰藻-古杯礁小，厚度一般为1~5 m，但是地貌特征比较明显。造礁生物主要是微观隐藻类，宏观附礁生物有腕足类和海百合等，含量在10%左右。

生屑滩：主要发育在南江沙滩兰藻-古杯礁组合的底部和顶部，以及柳湾凝块石灰泥丘的下部，生屑以海百合茎屑、腕足屑与三叶虫屑为主，见部分白云化现象。

鲕粒滩：在南江沙滩、杨坝和柳湾等3条剖面的下部都较发育，厚度一般达30~40 m，鲕粒直径约0.3 mm，部分可达0.5 mm。

1.2.2 造礁生物类型

本区早寒武世生物礁的生物类型主要有古杯、兰藻，附礁生物除单体规则古杯外，还有三叶虫、腕足类、海百合、海绵骨针等。

古杯动物：古杯动物可分为不规则古杯和规则古杯两大类。参与营造生物礁的主要是不规则古杯，即曲板古杯类。本区早寒武世生物礁中的造礁古杯主要为 *Dictyocyathus*、*Retecyathus* 等，它们呈群体状，形成有一定抗浪能力的格架。以 *Chengkoucyathus* 为代表的规则古杯均为单体，它们常与三叶虫、腕足类、海百合等一起组成附礁生物群，分布于生物礁礁核、礁盖中。

兰细菌类：早寒武世生物礁中的兰藻有骨架兰藻和非骨架兰藻。骨架兰藻主要为表附藻 (*Epiphyton*)、肾形藻 (*Renalcis*) 和葛万藻 (*Girvanella*)，其中，表附藻

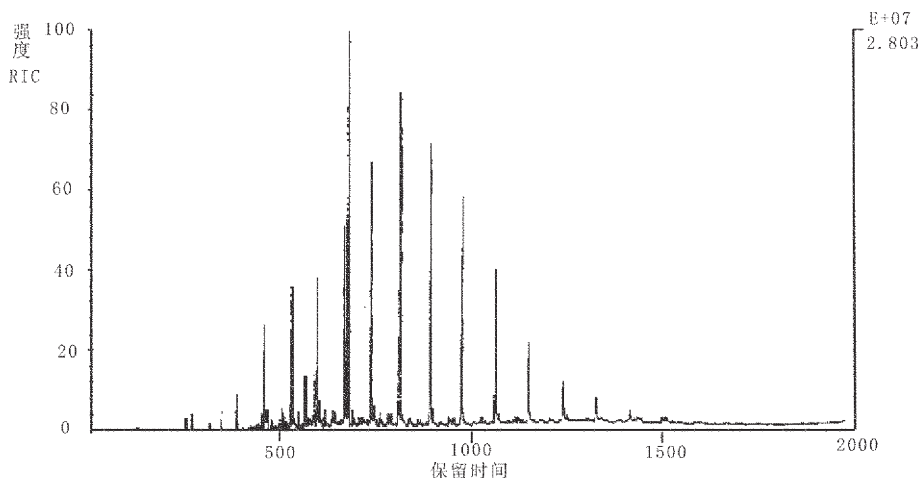


图2 南江沙滩早寒武世灰泥丘正构烷烃分布特征

Fig.2 Distribution of normal alkanes in Early Cambrian lime-mud mounds in Shartan, Nanjiang, Sichuan

表 1 大巴山和米仓山南缘寒武系地层划分对比及礁滩分布

Table 1 Stratigraphic division and correlation of the Cambrian and reef-bank distribution in the Daba and Michang Mountains

地层		地区	米仓山	礁滩	大巴山	礁滩
寒武系	毛庄阶	陡坡寺组	[柱状图]	[圈]	三游洞组	[圈]
					覃家庙组	
	龙王庙阶	石龙洞组	[柱状图]	[圈]	石龙洞组	[圈]
					天河板组	
	沧浪铺阶	仙女洞组	[柱状图]	[圈]	石牌组	[圈]
					仙女洞组	
	筲竹寺阶	筲竹寺组	[柱状图]	[圈]	筲竹寺组	[圈]
梅树村阶	[柱状图]	[圈]	[圈]	[柱状图]	[圈]	
震旦系	灯影峡阶	灯影组	[柱状图]	[圈]	灯影组	[圈]

的含量较高,它们常单独形成障积岩,也可以与肾形藻和葛万藻共同作用。葛万藻常缠绕生屑生长,形成核形石。非骨架兰藻主要是兰菌藻(cyanobacteria),为隐藻类生物,它们在凝块石灰泥丘的形成过程中具有重要的作用。通过对研究区寒武纪凝块石的生物标志化合物的分析,显示其主要表现为细菌和菌藻类生物对有机质来源的影响。具体表现为:

(1)正构烷烃分布以低碳数的偶碳数优势为特征。正构烷烃的主峰碳数分布和奇偶优势比值等可提供有机母质的生源构成、演化状况和沉积环境等

方面的信息。低碳数正构烷烃与低等的菌藻类生源有关,而高碳数正构烷烃则与高等植物生源有关。米仓山南缘下寒武统仙女洞组生物灰泥丘凝块石的正构烷烃分布特征为峰形前高后低,以低碳数(nC_{15} — nC_{20})主峰碳单峰形分布为主,表明其有机质的生源构成是以细菌、低等藻类等为主(图 2)。虽然正构烷烃分布特征也与烃源岩的热演化程度有关,在高过成熟阶段也可能出现以低碳数正构烷烃分布为主的现象,但是,从中晚奥陶世起,维管束植物才开始演化,且十分稀少^[9],所以所研究的正构烷烃分布特征显然代表了细菌、低等藻类等有机质的生源构成。

(2)五环三萜烷分布以 C_{30} 藿烷主峰为特征, C_{31} — C_{35} 升藿烷系列随碳数增加含量依次降低(图 3)。以藿烷为代表的五环三萜化合物主要分布于蕨类、苔藓植物、兰藻和细菌中,而且在兰藻和细菌中广泛分布。

(3)甾类化合物分布以 C_{29} 甾烷优势为特征(图 4)。在早期研究中, C_{29} 甾烷(醇)常被作为陆生高等植物有机质存在的重要证据,然而,在前寒武纪、寒武纪等兰菌藻叠层石及海相地层中存在 C_{29} 甾醇(烷)优势,在近代沉积物中也发现含丰富 C_{29} 甾醇的兰菌藻。因此,根据生物演化和上述综合分析,所研究的样品中的 C_{29} 甾烷优势,反映其可能为细菌、兰藻类生源。

1.3 礁滩发育特征和控制因素

1.3.1 礁滩发育特征

本区礁滩的发育具有明显的旋回性,并且其特征因地而异,同时,控制本区礁滩发育的因素也不相

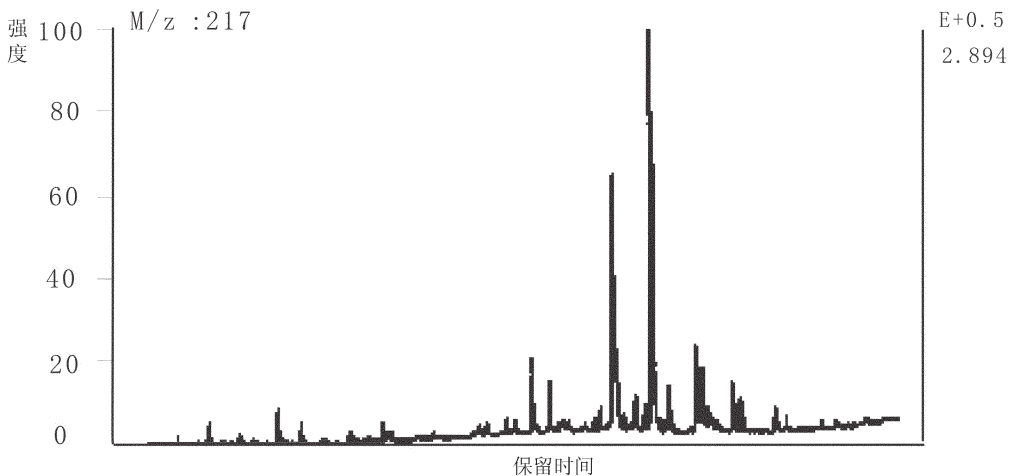


图 3 南江沙滩早寒武世灰泥丘五环三萜烷分布特征
Fig.3 Distribution of steranes in Early Cambrian lime-mud mounds in Shartan, Nanjiang, Sichuan

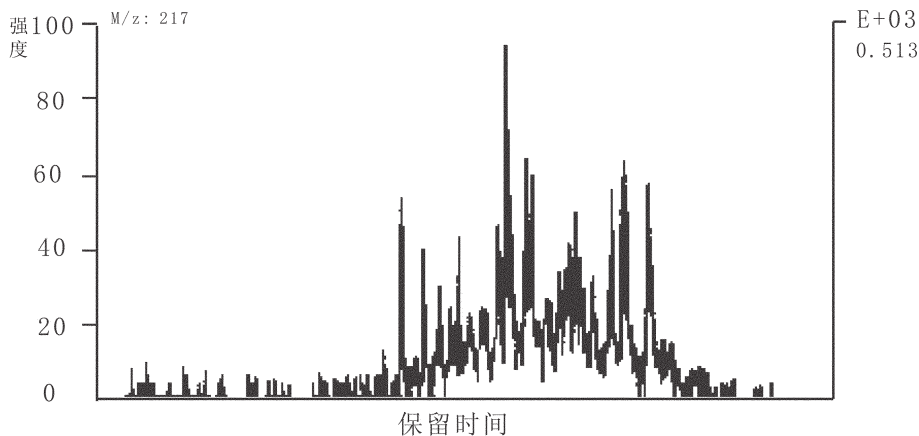


图 4 南江沙滩早寒武世灰泥丘甾烷分布特征

Fig.4 Distribution characteristics of terpenoids in Early Cambrian lime-mud mounds in Shartan, Nanjiang, Sichuan

同,四川南江沙滩生物礁为本区礁滩典型代表,南江杨坝、柳湾礁滩也较发育。

四川南江沙滩早寒武世仙女洞组,基本上是由碳酸盐岩组成,中部夹有部分钙质粉砂岩条带,与下伏的筇竹寺组浅海相沉积构成了一个海进层序,在此海进层序中,具有 4 个礁滩发育旋回(产礁层),其中,第二个礁滩发育旋回的生物礁厚度最大(图 5)。

第一产礁层的基底为鲕粒滩和生屑滩,发育交错层理,表明当时水动力条件较强。滩的厚度为 50 m 左右,其上所发育的生物礁类型为凝块石灰泥丘,厚度约为 8 m,造丘生物主要是菌类、兰菌藻类等。丘体顶部一般发育有较为明显的藻纹层,丘的盖层为含有陆源砂泥质的薄层生屑灰岩,这说明陆源物质的侵入,使凝块石灰泥丘的生存环境发生了较大的变化,丘体因此而消亡。

第二产礁层最发育,厚度约为 24 m,其内又有 3 个次一级的发育旋回。礁体的基底为薄层鲕粒生屑灰岩,在鲕粒生屑灰岩层之上发育了凝块石—核形石生物层,上部发育兰藻—古杯骨架岩。顶部为砂屑灰岩、钙质粉砂岩所覆盖,表明当时水体变浅及陆源物质的注入抑制了生物礁的进一步发育。

第三产礁层较薄,其中的礁体也较小,一般厚 6~7 m,在本产礁层中见有 2 个发育阶段,下部礁基为核形石生屑灰岩,其上发育了凝块石—古杯骨架岩,礁顶部覆盖了生屑灰岩层。

第四产礁层:其底部为 3 m 厚的生屑灰岩层所组成的生屑滩,为生物礁的基底,上面发育的礁体厚

约 15 m,具有 2 个发育期。第一个发育期的礁为凝块石灰泥丘,其内含少量单体古杯和其他生屑,第二个发育期发育了核形石生物层。生物礁的上部被 6 m 厚、粒度较粗的生屑、砂屑鲕粒滩所覆盖。

发育期次	厚度	相	生物礁特征
4	15m	丘盖	丘盖: 红色亮晶生屑滩
		丘核	丘核: 下部为含生屑凝块石 上部藻球层
		丘基	丘基: 生屑滩
3	7m	丘盖	丘盖: 生屑滩
		丘核	丘核: 凝块石
		丘基	丘基: 含藻球生屑灰岩
2	24m	丘盖	丘盖: 钙质粉砂岩
		丘核	丘核: 下部为凝块石及藻球层 上部为古杯—蓝藻骨架岩
		丘基	丘基: 生屑滩
1	8m	丘盖	丘盖: 生屑滩
		丘核	丘核: 下部发育凝块石 上部发育藻纹层
		丘基	丘基: 生屑滩

图 5 南江沙滩下寒武统仙女洞组生物礁滩发育特征及旋回
Fig.5 Development Characteristics and cycles of reefs in the Early Cambrian Xiannudong Formation, Shartan, Nanjiang, Sichuan

四川南江杨坝早寒武世仙女洞组礁滩组合厚约 80 m,可分为 3 个发育阶段。下部发育阶段为厚 65 m 左右的鲕粒滩,其内交错层理、羽状层理等沉积构造发育,反映其沉积环境为高能的潮间下带环境。在鲕粒滩的上部发育生屑滩,在此基础上发育了以古杯—兰藻为造礁生物的小型骨架礁,骨架岩的上部发育核形石生物层,礁体厚约 5 m,礁盖为生屑滩。第三发育阶段为厚约 10 m 的鲕粒滩,其中错层理、羽状层理发育。

四川南江柳湾早寒武世仙女洞组礁滩组合厚约 74 m,具二个发育旋回。第一个发育旋回下部发育厚约 50 m 的鲕粒滩,其中下部发育交错层理,上部发育羽状层理等沉积构造。以鲕粒滩为基底,发育了生物礁。生物礁厚约 7 m,下部为核形石生物层,上部发育灰泥丘。第二个发育旋回下部发育厚约 5 m 的鲕粒滩,其上生长生物礁,厚约 12 m。生物礁发育的早期以凝块石灰泥丘为特征,后期为肉红色核形石生物层。顶部为三角洲相的粉砂岩、砂岩所覆盖。

1.3.2 礁滩发育控制因素

(1)海平面升降的影响:相对的海平面升降是区域构造作用和全球性海平面变化的综合效应。在海平面相对上升时期,碳酸盐产生和礁的生长可以与其同步—并进;也可以因沉积和生长速度较低而滞后—追补,使碳酸盐容纳空间变大,当海平面上升减缓、停滞或缓慢下降时,再追补发育形成浅水碳酸盐和生物礁。海平面升降对本区相带展布和礁滩分布都具有重要的控制作用,本区的礁都是在海平面上升的过程中形成的,而滩则主要是在海平面降低、水动力条件较强的环境中所形成。

通过比较研究发现,南江沙滩仙女洞组生物礁最发育,而杨坝、柳湾两地的则次之,且同在仙女洞组中,产礁层位也比沙滩的高,滩的厚度也明显大于南江沙滩。这是因为在仙女洞期之初、中期,杨坝比较靠近古隆起,而柳湾处于陆棚内的坡折带区,两地的古地貌都比沙滩的高,因此水动力条件也较强,发育了较厚的鲕粒滩、生屑滩等。由于沙滩水体相对较深,水动力条件较弱,在生屑滩的基础上发育了生物礁。到仙女洞中—后期,由于生物礁的生长速度超过了所能容纳空间的生长速度,于是生物礁扩展到适合其生长的杨坝、柳湾两地,且具有一定厚度。海退时陆源物质的注入可能也是抑制沙滩生物礁发育,使其迁移到杨坝、柳湾等地发育的原因。陕西南郑福

成一带与南江沙滩的礁滩发育规律大致相同,由于靠近汉南古陆,在海进时形成一定规模的礁滩,海退时向水深的方向,即镇巴以东迁移,在水体条件适合的地方形成了更高层位的天河板期生物礁。镇巴以东天河板期生物礁的基底之下为泥页岩,表明仙女洞期水体较深。

(2)古地理环境的控制:大巴山、米仓山地区在早寒武世时地势西北高、东南低,在西部有摩天岭古陆,北部有汉南古陆^[4]。米仓山地区寒武纪海进—海退沉积旋回由 3 个次级旋回组成。筇竹寺组—仙女洞组为第一个次级旋回,大规模海进在筇竹寺组沉积的早期开始,海侵面积不断扩大,水体加深,形成滞流浅海环境。由于陆源物质不断从周边古陆剥蚀、搬运注入,使筇竹寺期沉积了大量陆源碎屑物质。随着古陆不断被夷平而准平原化,陆源碎屑供给量渐趋减少,沉积环境由浑水变为清水环境,形成了以仙女洞组为代表的碳酸盐台地沉积,生物礁滩组合发育于碳酸盐台边缘相带中。至仙女洞末期,开始发生海退。阎王碛组—石龙洞组构成了第二个次级旋回,阎王碛组沉积期海水不断收缩,出现了潮间环境、三角洲环境,至后期又开始小规模海进,沉积了以石龙洞组为代表的碳酸盐台地沉积,但沉积较薄,无生物礁发育。陡坡寺组构成一个从海进至海退部分的半旋回,代表本区第三个次级旋回。大巴山地区与米仓山地区基本类似,但海侵发生较晚,产礁层位较高。另外,大巴山地区陆源碎屑物质供给少于米仓山地区,而碳酸盐沉积发育。

早寒武世时,大巴山、米仓山地区东、西部都为广阔的浅海环境,在镇巴、万源、城口一带为陆棚内的坡折带,当仙女洞组沉积时,西侧水体较浅,发育了生物礁,而东侧水体较深,不利于礁的发育。当阎王碛组沉积时,大量陆源物质从西部古陆注入而抑制礁的发育,生物礁随之向东迁移,在镇巴以东地区的天河板组发育。

2 志留纪生物礁

2.1 生物礁的主要类型及分布

志留纪生物礁分布于四川盆地南北缘^[5](表 2),其类型主要包括点礁、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。

(1)点礁: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,礁体规模不大,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。点礁除通常以单独个体出现外,尚可群体分布,以此形成点礁群,如四川广元宣河至陕西宁强一带常见多个礁体组成群状。

(2)灰泥丘: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,多散布于川东南綦江、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,其特征为灰泥丘呈穹隆状、蘑菇状,内部含有较多的层孔虫、珊瑚及藻类等,但是珊瑚、层孔虫等生物不起造架作用,仅占10%左右。典型例子为广元宣河浅溪河西北岸的灰泥丘,长约2 m,厚50 cm;而在丘中常显示有与叠层石相似的纹层状突起生长构造和少量小型层状晶洞构造(stromatactis),形成非骨骼生物所造成的格架特征。②凝块石灰泥丘,其规模不大,一般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,但是其内部以藻凝块及微晶灰岩为主,所含具骨骼的造架生物较少,仅有少量小型珊瑚、苔藓虫及层孔虫分散于丘内,不具抗浪的生物格架,含量小于5%。它们由宁强一带王家湾组下部灰绿色页岩中所夹的球形微晶灰岩体(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,其中充有部分生屑,并见有藻纹的多期生长构造,此类球形微晶灰岩体可视为礁头或微型生物礁^[6,7],它们可相互堆叠,形成较大的凝块石灰泥丘。凝块石灰泥丘为一类特殊类型,其形成方式与传统意义上的生物礁有很大区别。它们为古代蓝菌藻类(cyanobacteria)所建造而成,或为保留有藻丝体的蓝藻建造而成(藻丘)^[8]。

(3)生物层状礁: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。生物化石以苔藓虫、层孔虫、珊瑚及软体动物、腕足类、棘屑等为主,大都为原地生活分子。

表2 四川盆地南北缘志留纪生物礁分布及地层划分对比
Table 2 Sillurian reefs distribution and stratigraphic & correlation on the northern and southern margins of the Sichuan basin

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		
温洛克统	宁强组	△△ ××	韩家店组	△×	宁强石嘴子
兰多维列统	王家湾组	△○	石牛栏组	○×	广元宣河
	崔家沟组	◇□	桥沟组		广元中子
	龙马溪组		龙马溪组		广元朝天
下伏地层	宝塔组		观音桥组		綦江观音桥 桐梓坡渡

注:○为层孔虫—珊瑚灰泥丘,□为小型凝块石灰泥丘,◇为大型凝块石灰泥丘,△为点礁,×为层状礁。

根据其中生物被改造程度不同,又可分出原生物层状礁和被改造的生物层状礁以及中间的过渡类型。原生物层状礁以原地生活的生物为主,具有生长状态。被改造的生物层状礁由被风暴、改造的生物组成,生物层层状礁主要见于朝天、中子王家湾组和中子、宁强等地宁强组以及川东南、黔北綦江、桐梓石牛栏组中。代表分子如广元宣河原地生物生物层状礁和宁强石嘴子玉带河边及綦江受风暴浪改造的生物层状礁。

2.2 生物礁发育的控制因素

大地构造对成礁过程有着间接和直接的控制作用,这种作用一方面间接地通过地形来实现,即大地构造形成使礁赖以生成的地貌特征。在志留纪时,上扬子板块区各大地构造单元特征分明,既有稳定的板内隆起区,又发育有主动和被动大陆边缘以及中、新元古代时发育起来的深大断裂带,它们与扬子板块基底起伏的地貌形态一起,共同控制着本区的成礁环境及生物礁的分布及发育。

2.2.1 板块内稳定区古隆起对生物礁的控制

上扬子地区板块内部大都构造稳定,早志留世生物礁的发育和分布,与板块内部古隆起的存在有着极为密切的关系,古隆起通过控制局部地区古地理格局来影响生物礁的分布及发育。早志留世时,该区受古隆起控制的沉积环境代表有川西北地区以及

川东南、黔北地区。

(1) 川西北地区(四川盆地北缘)

本区属四川广元和陕西宁强所管辖,志留纪地层沿后龙门山大断裂东侧呈北东、南西向条带状分布。除局部地区可能有晚志留世地层外,主要出露早志留世地层,最大厚度达 1328 m。据底栖生物和笔石生态组合特征显示。本区当时的沉积水深主要处于 BA-BA 和 BA 带^[9],少数为 BA 至 BA=带的深度分带位置,推测水深主要在 30~60 m。为正常波基面之下的浅海环境。在古地理上,该区地处汉南古陆西南及碧口古陆东南面,其沉积古地理格局及其发育与演化基本受此两个古陆的控制(图 6)。汉南古陆及碧口古陆为扬子板块北部边缘海沟组合体靠陆一侧,是中晚元古代所形成的岛孤山系。早古生代时,该区构造稳定,至早志留世时古陆南面发育为一宽缓的陆表海,而在川西北地区则发育一向板块内部倾斜的陆源碎屑-碳酸盐岩沉积匀斜缓坡-盆地沉积环境^[10]。由于本区环境适宜,因而生物发育。其所形成的生物礁,主要有点礁、生物层、层孔虫-珊瑚灰泥丘,以及凝块岩灰泥丘等诸种。一般说来,本区的凝块岩灰泥丘、部分层孔虫-珊瑚灰泥丘以及部分生物层分布于深缓坡上部环境,而点礁、部分层孔虫-珊瑚灰泥丘、部分生物层主要见于浅缓坡环境中。

(2) 川东南、黔北地区(四川盆地南缘)

该区位于贵州遵义北以及四川綦江至西阳一线以南地区,石牛栏期时(Llandovery 中晚期)发育有较好的点礁、小型灰泥丘及生物层早奥陶世宁国晚期至晚奥陶世石口期发生大范围海退,致使黔中和黔西地区变为陆地,形成黔中古隆起。早志留世时,黔中古隆起成为控制本区古地理格局的主要因素。由于受古隆起的影响,早志留世时,在黔中古隆起北面及其东北面都形成了与川西北地区相似的陆源碎屑-碳酸盐混积缓坡环境。于石牛栏早、中期,在近古隆起的浅水区发育生物礁及生物层,而远离古隆起区,地层厚度逐渐加大且生物礁及生物层分布范围与规模逐渐减小,最终为泥页岩所代替。同时,石牛栏组上、下的韩家店组和龙马溪组也具有随着远离古隆起,厚度逐渐增加的现象,反映出当时的古地形特征。由于古隆起的存在,志留纪沉积相大致沿此古隆起分布(图 7)^[11]。由于受板块基底北高南低的地貌格局影响,所以该区总体上所

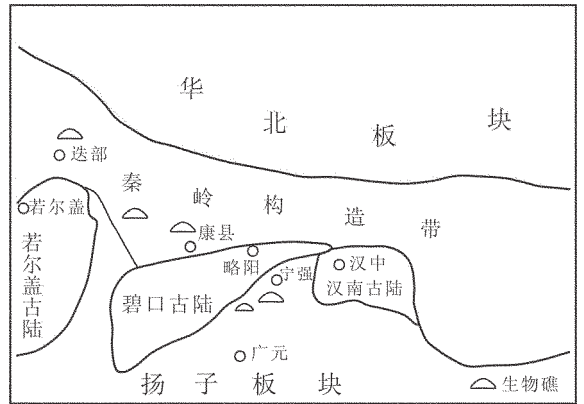


图 6 四川盆地北缘志留纪大地构造格局与礁分布示意图
Fig.6 Tectonic framework and reef distribution on the northern margin of the Sichuan basin during the Early Silurian

处环境在志留纪时的沉积水深可能大于川西北地区^[12]。同时又由于本区黔中古隆起对环境的影响要比北面的汉南等古陆大,因而区内生物礁的类型、规模都不及川西北地区一般生物礁及生物层厚几米至几十米,造礁生物多为层孔虫和珊瑚。

2.2.2 海平面波动对生物礁的影响

综合 Sr、C/O 同位素资料分析,四川盆地早志留世海平面总体呈上升趋势,这与沉积相特征分析及古生物分析结论一致^[13,14]。本区海水升降受全球海平面变化的影响并受控于区域大地构造格局,即从Ruddanian 至 Aeronian 中晚期(以龙马溪组为代表),海平面较低,当时全球性大海进还没有波及到上扬子板块内的稳定古陆周缘^[15]。从 Aeronian 晚期开始一直到 Sheinwoodian 期(以王家湾组或石牛栏组和宁强组为代表),受全球海平面上升的控制,上扬子区也处于海平面上升的环境之中王家湾组/石牛栏组代表海进时期沉积,宁强组则代表高水位期沉积由于海平面上升,古陆的风化剥蚀作用减弱,陆源碎屑及淡水向海中的注入量降低,海水开阔,因而有利于造礁生物的发育。在海进期,碳酸盐产生和生物礁的生长可以与其同步——并进,也可以因沉积和礁生长速度低而滞后——追补。当海平面上升减缓、停滞,达高水位期时,再追补发育成浅水碳酸盐岩和生物骨架礁在四川盆地南北缘,石牛栏组生物礁发育于海进时期,属于海进型生物礁,而宁强组生物礁则主要发育在高水位时期,属于高水位型礁(图8)。海进型礁的发育程度及规模都逊于

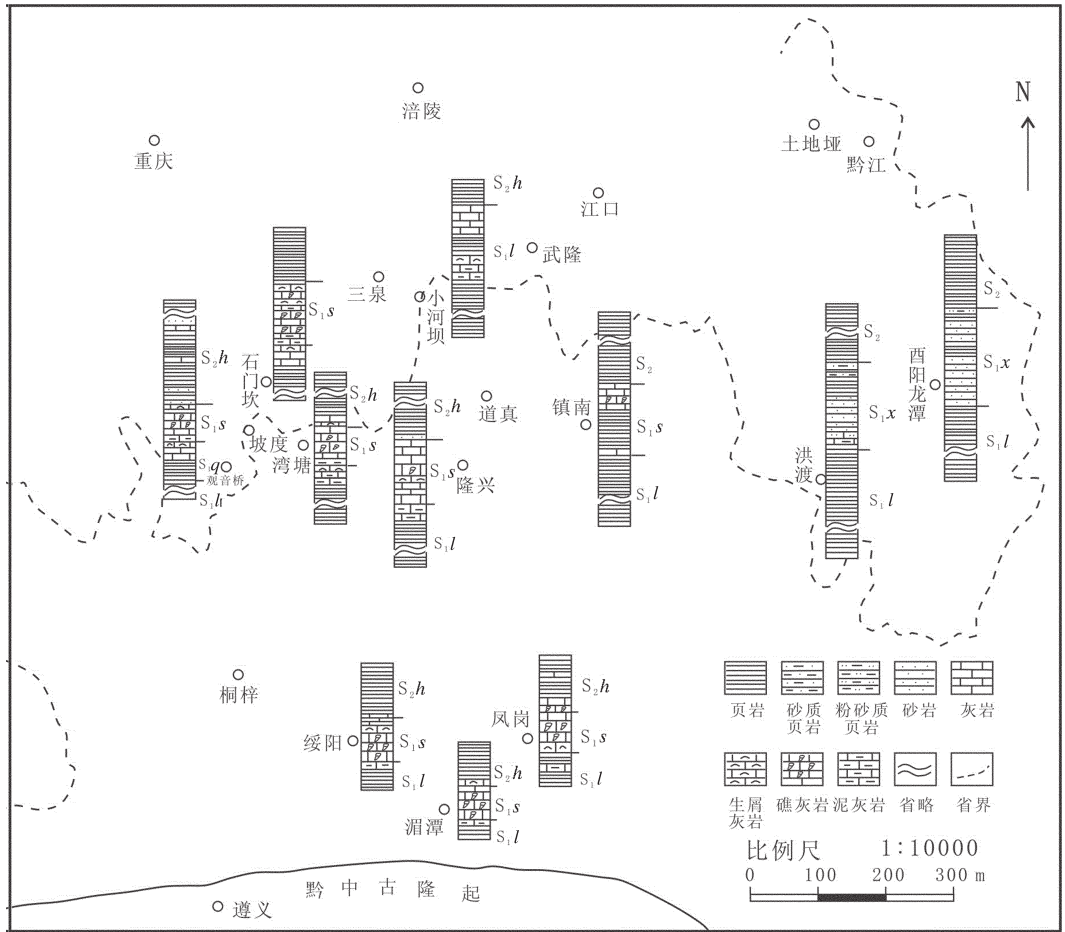


图7 川东南-黔北下志留统含礁层位对比

S_{1l} —下志留统龙马溪组; S_{1s} —下志留统石牛栏组; S_{2h} —中志留统韩家店组; S_{1q} —下志留统桥沟组; S_{2x} —中志留统小河坝组
 Fig.7 Correlation of the Lower Silurian reef-bearing horizons in southeastern Sichuan and northern Guizhou
 S_{1l} —Lower Silurian Longmaxi Formation; S_{1s} —Lower Silurian Longmaxi Formation; S_{2h} —Middle Silurian Hanjiadian Formation;
 S_{1q} —Lower Silurian Qiaogou Formation; S_{2x} —Middle Silurian Xiaohabag Formation

高水位礁。

在四川盆地南北缘,早志留世生物礁的分布受控于板块内部古陆的存在,古陆通过控制古地理格局来影响礁的分布^[2]。早志留世生物礁均分布于古陆周缘的缓坡环境中。海平面升降为区域构造运动与全球海平面变化的综合效应,其结果直接控制了礁的发育。海进促使了礁的发育(王家湾组/石牛栏组礁),而高水位期时,生物礁则发育完善(宁强组礁)。

3 二叠纪生物礁

3.1 生物礁的分布特征

二叠纪时,川东、鄂西渝东地区礁体发育的极盛期为长兴期,生物礁在此区分布广泛。在川东、鄂西

渝东地区均已发现工业生物礁型气藏,研究对比川东、鄂西两地生物礁发育特征,有利于揭示本区生物礁分布规律,为礁型气藏的勘探指明方向。

自1984年初到现在,在大约30000 km²的川东地腹区,经钻探揭露,已陆续发现多个长兴组海绵障积型点礁,即石宝寨、卧南、板东、双龙、大池干、黄泥塘、张家场、铁山、黄龙山等生物礁。地面发现有老龙洞、文星场、涧水沟、红花、见天坝、黄金洞、花椒坪、红椿坪等生物礁。

区内生物礁主要为台地边缘礁和台内点礁组合及灰泥丘组合。出露的礁体和井下钻遇的礁体主要呈带状分布^[19](图9)。

利川见天坝陆棚边缘礁位于台地陡斜的边缘

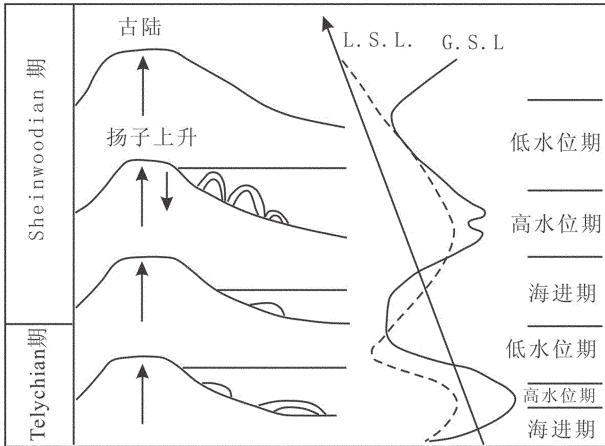


图 8 生物礁发育的构造演化与海平面变化及层序地层综合模式

L.S.L.—区域海平面波动曲线;G.S.L—全球海平面波动曲线

Fig.8 Integrated model of reef development, sea-level change and sequence stratigraphy

L.S.L—Regional sea-level fluctuation curve; G.S.L—Global sea-level fluctuation curve

上,濒临鄂西海槽,是第一成礁带的主体部分。该礁体的最大特点是大型柱状海绵丰富,构成生物骨架;海底胶结作用很发育,礁核相和礁后滩相起到坚固骨架的作用。

第二个成礁带为台地内的线状点礁。由柱状、囊状和串珠状海绵构成骨架,骨架的坚固主要借助于蓝绿藻和串珠状海绵的缠绕作用。礁组合中最发育的相带也是礁核相和礁后滩相。

第三个成礁带是若干个台内障积点礁组成。代表性礁体是北碚老龙洞礁体。礁组合纵向上为障积礁核相与浅滩相交互叠置而成的塔形体。礁核相造礁生物的含量少,主要为囊状和串珠状海绵,它们并未形成生物骨架结构,仅起到障积灰泥的作用,因而礁灰岩普遍具有灰泥支撑的结构特征^[17]。

上述 3 个成礁带近平行分布,反映了晚二叠世生长长期随海侵的发展,礁体发育地点逐渐向陆地方向发展^[17,18]。

对于不同的生物礁组合类型,其分布又有以下特点:

(1)台缘礁组合呈带状分布

礁组合一般沿台地周缘发育。由于所处地理位置不同,水动力条件差异,礁体发育情况亦很不一致。在东部台缘迎浪,水动力条件较强,生物礁发育

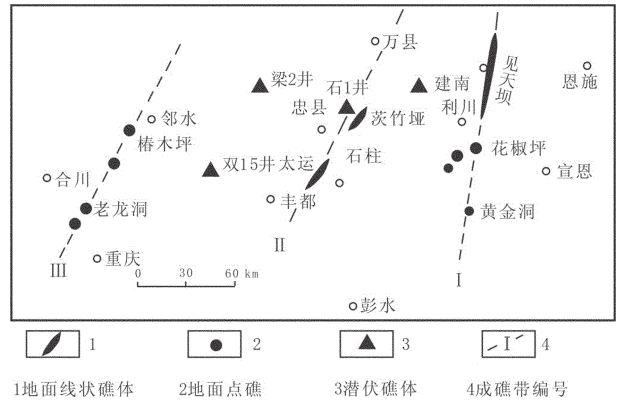


图 9 川东、鄂西地区长兴组礁体分布简图 (据陈成生,1991,有修改)

Fig.9 Distribution of reefs in the Upper Permian Changxing Formation in eastern Sichuan and western Hubei(after Chen Chengsheng, 1991)

比较完善,造礁生物丰富,因而礁体沿见天坝至林场一线基本上连续分布;而在海湾缓坡及台缘缓坡地带,礁发育差,因而礁体断续分布。

(2)点礁及灰泥丘组合呈“斑点”状分布

这些礁体分布在台地内部,呈星散状分布,面积小,厚度不大。如建 7 井区、天上坪礁、老龙洞、涧水沟等礁、丘组合等。

在纵横向,生物礁的分布为:台缘礁有向海推进的特点,礁体逐渐加宽,纵向层位逐渐变新,礁体向海方向推移最大平距达 3.5 km。如见天坝礁,在见天坝剖面顶部的礁后相段厚 60.4 m,而到吴家湾则礁体层位升高,几乎与三叠系接触,其顶部礁后相段厚仅 10.2 m,礁在向海推进的同时,也向上发育,高达 50 m 左右。海湾缓坡礁生长以垂向为主,又具频繁的侧向伸缩。台缘缓坡礁体亦具向海推进的趋势(如茨竹垭礁),但远不如见天坝台缘礁明显。

3.2 川东、鄂西渝东生物礁发育特征

晚二叠世生长长期时,本区是碳酸盐缓坡逐步向浅水碳酸盐台地转化的环境^[19,20],主要根据北碚老龙洞生物礁长兴组剖面、华蓥市涧水沟长兴组剖面等分析,其岩石类型为藻屑粒泥岩-泥粒岩,砂屑粒泥岩-泥粒岩,生屑粒泥岩-泥粒岩。所含浅水生物为鲢类、有孔虫、棘皮类、苔藓虫、腕足类、腹足类、双壳类、钙藻(二叠纪钙藻、裸松藻及假蠕孔藻)等,颗粒岩不发育,代表了浅缓坡相沉积特征。根据古地理

位置、造礁生物、岩石类型等特征,可将本区生物礁划分为:

台缘礁:台缘礁位于碳酸盐台地的边缘上,往往形成较大的断续绵延很长的礁群组合(图10),地貌特征明显,造礁生物发育,主要为海绵、水螅、蓝藻等,附礁生物主要有腹足类、海百合、有孔虫、介形虫等。礁前、礁后相带分化明显,相带展布清楚。

点礁:发育于长期碳酸盐缓坡上的对称礁,其礁体高宽比多大于1/10,呈扁平丘状,厚数十至百余米,有不少都深埋地腹,如天上坪、建7井区等礁体和铁厂河林场、椒树塘、盘龙洞及开县红花等生物礁组合。其岩石类型以海绵障积岩为主,含少量海绵骨架岩和海绵粘积岩,造礁生物具有固定生长方向,多数垂直层面向上生长,造礁生物含量为30%~50%,礁体组成仍以灰泥为主,但相对于灰泥丘而言,造礁生物含量多得多,其相带对称分布,不像边缘礁能分出礁前、礁后,礁生长初期面积小,发育期礁体面积增大。

生物丘:这类礁体包括红椿海湾附近和缓坡带上

的黄泥塘、花椒坪、红椿桃以及大洞、茨竹垭等地礁体。参与建造生物丘的生物主要是藻类,其次为其他无脊椎动物,包括蓝藻、海绵和单体珊瑚等,以蓝藻为主。附丘型生物主要有腹足类、有孔虫、海百合、介形虫等。宣汉渡口羊鼓洞生物礁就是一种典型的灰泥丘类型,具有如下特征^[19]:(1)岩石类型全部为障积岩,骨架岩及粘积岩不发育;(2)造礁生物海绵等多数无固定生长方向,在地层中杂乱生长,仅少数个体较大者垂直层面生长,很少能形成骨架;(3)造礁生物含量少,20%左右,以填隙物为主。生物丘常可以向上演化为骨架礁。

本区生物礁以发育在碳酸盐缓坡逐步向浅水碳酸盐台地转化的背景上的点礁和台地边缘礁为主^[20,21,22,23],其总体特征见表3。台地边缘礁生长区的海水能量大,造礁生物丰度高,礁格架抗浪性强,亮晶胶结物发育;而点礁及灰泥丘生长区处于海水能量较低,造礁生物丰度较低,抗浪性相对较弱,多沉积灰泥。前者多发育骨架岩,后者多障积岩(表4)。

由于东吴运动使上二叠统沉积初期在四川盆地

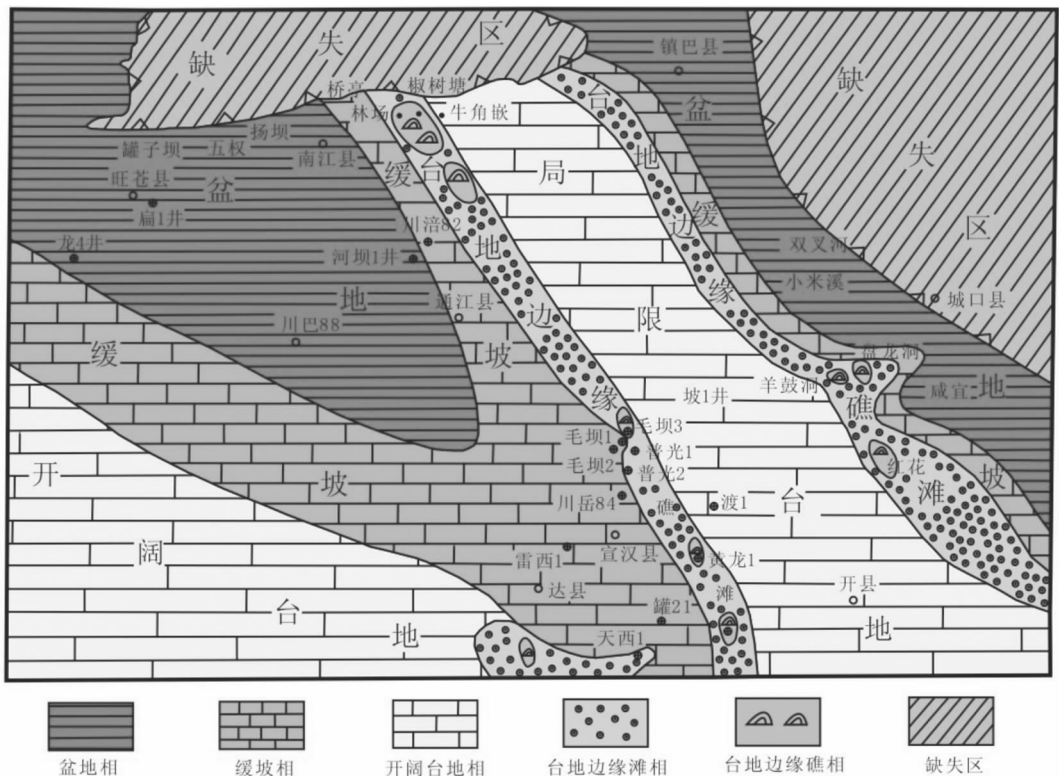


图10 四川盆地东北部长兴组岩相古地理图(据马永生等^[20],2006,修改)
Fig.10 Sedimentary facies and paleogeographic map of the Changxing Formation in the northeastern Sichuan basin

表 3 川东地区长兴组生物礁特征

Table 3 Characteristics of the reef association in the Changxing Formation in the Kaijiang area, eastern Sichuan

相带	相带特征
礁盖	以泥灰岩为主, 含生屑极少或基本不含, 局部弱白云化
礁顶滩	为礁组合中的最后一期含棘屑浅滩。厚度大, 白云化作用强, 发育大量溶蚀孔隙和晶间孔, 形成好的储集层, 有的礁组合缺失该相带
礁间滩	发育在礁间的棘屑滩。部分礁间滩发生选择性白云化及溶蚀作用, 发育晶间孔及晶间溶孔、粒间孔及粒间溶孔, 储集性好
礁核	以海绵、水螅为主, 并发育苔藓虫、珊瑚、管壳石、藻类等造礁、附礁生物等, 为礁骨架发育期
礁基	以棘屑滩为主, 部分生物礁以生物灰泥丘为基底

形成西南高、东北低, 西陆东海的古地理格局, 使四川盆地的及鄂西的生物礁组合发育特征具有从东向西、从南到北层位逐渐升高, 而礁组合发育程度则逐渐减弱, 至消失的趋势(图 11)。

比较同期海平面相对上升时川东和鄂西沉积的差异, 在东部吴家湾地区在沉积了 60 余米厚的生物丘(岩性为粘结-障积岩)和 110m 厚的台地边缘礁(岩性为粘结-骨架礁), 总计 170 余米; 向西往台地内部, 丰都太运地区沉积了 46m 厚的点礁(岩性为粘结-骨架岩); 至北碚老龙洞地区仅沉积 20 余米厚的点礁(岩性为粘结-障积岩)。东部与西部礁体厚度在该阶段相差 150 余米, 这表明除原始地形差异外, 东部海平面相对上升的时间更早, 时限更长, 幅度也较大。这种海平面相对上升的差异可能与构造沉降有密切关系。

3.3 生物礁发育控制因素

3.3.1 古地貌格局

晚二叠世长兴期, 四川盆地内碳酸盐台地发育, 受晚古生代裂陷运动的影响, 边缘拉裂为海槽(槽盆), 内部受古断裂控制形成台凹和相对平、水浅、开放的台隆(台坪), 台内点礁就主要发育在台隆上或台坪边缘。礁体大致呈 NNE 向平行分布, 显示了古地貌格局对礁体生长发育的控制)。

3.3.2 海平面变化对礁发育的控制

从本区生物礁相剖面来看, 晚二叠世海平面相对上升阶段是成礁的主要时期。当海平面相对稳定时, 礁体主要向两侧或向海盆方向侧向生长; 当平面

表 4 川东、鄂西两地生物礁发育特征对比

Table 4 Comparison of the characteristics of reef development in eastern Sichuan and western Hubei

地区	发育地点	礁类型	规模	层位	特征
鄂西 见天坝	台缘	边缘礁	大	始于长一中下部, 止于长二上部	以骨架岩、障积岩为主, 成礁旋回不明显
川东 洞水沟	台内	点礁	小	始于长二部, 止于长三顶部	以障积岩为主, 具两个生物礁沉积旋回

相对上升的速度与礁体向上生长速度相平衡时, 礁体呈垂直增长; 当海平面相对快速上升时, 由于其上升速度大大超过礁体向上生长速度, 生物礁则快速地向海岸方向迁移或被淹死。

3.3.3 同沉积断裂对生物礁的影响

晚二叠世上扬子台地内同沉积断裂活动非常发育, 它直接促进和抑制了生物礁的生长和发育。对礁体生长和发育的促进作用主要表现在以下两方面: 首先, 同沉积断裂活动产生了海底地貌隆起。这种隆起正是成礁相沉积的先决条件, 它给造礁先驱群落提供了定殖生长的有利条件。如七跃山同沉积断裂形成的晚二叠世台地东缘隆起, 便为生物礁生长发育提供了有利的地形条件。其次, 随着扬子板块内部区域构造拉张作用的加强, 同沉积断陷作用又导致了海平面的相对上升, 可容空间增大, 使礁体能够连续垂向生长。

4 结论

(1) 在古生代, 生物礁从老到新主要发育在早寒武世、早志留世及晚二叠世地层中。地理分布上, 它们分别产于四川盆地北、东北缘大巴山、米仓山地区(早寒武世礁)、四川盆地南北缘(早志留世礁)以及鄂西渝东、川东北地区(晚二叠世礁)。

(2) 四川盆地古生代生物礁的发育特征及其控制因素既有不同, 又有部分相似的规律。区域大地构造格局对其具明显的控制作用。在构造隆起区及边缘、碳酸盐台地边缘区为生物礁的发育分布提供了十分有利的浅水环境, 生物礁发育; 生屑滩构成了大多古生代生物礁组合发育的基底, 部分生物礁可以在灰泥丘的基础上发育起来。海平面波动对生物礁组合的发育影响明显。一般, 当海平面上升时, 生物礁发育, 海平面下降会抑制生物礁的发育。古生代以灰泥丘发育为特征, 随着地史时期生物的演化, 不同

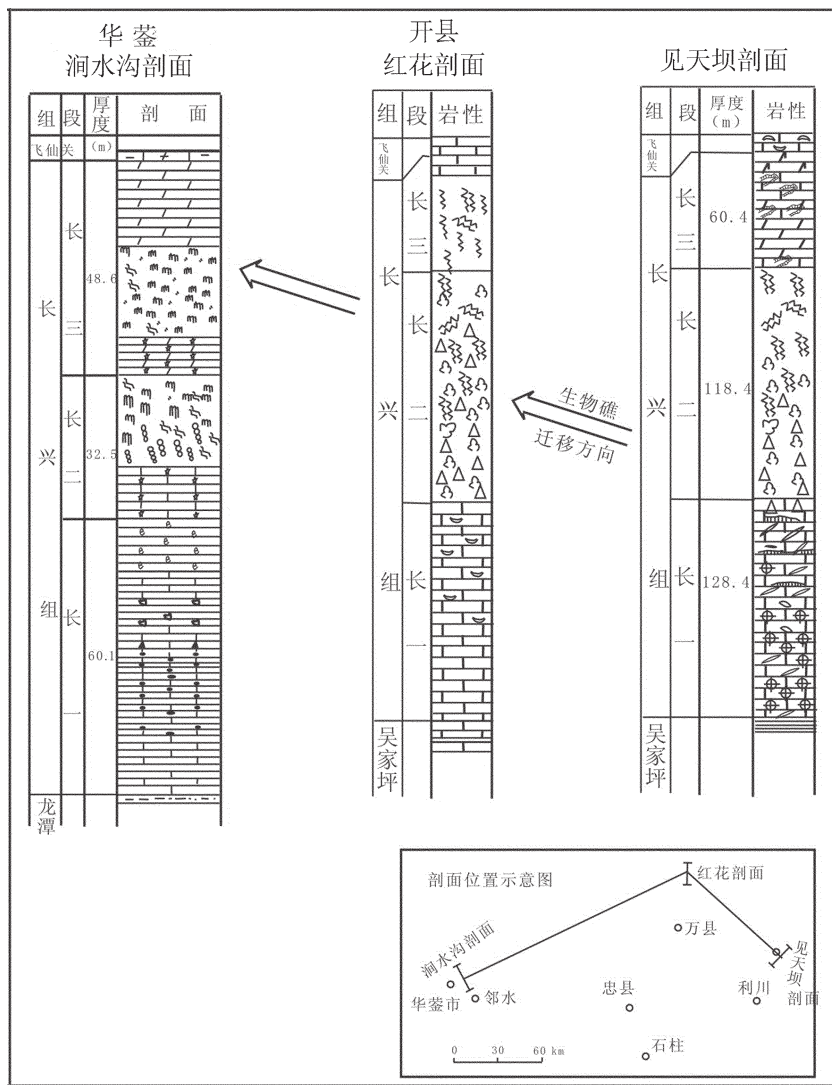


图 11 川东鄂西地区上二叠统生物礁层位时迁图

Fig.11 Development of horizons of Upper Permian reefs in eastern Sichuan and western Hubei

的地质时代造礁生物类型不同,并且,造礁生物随着生物的演化而类型也有增加。在早寒武世,造礁生物主要是古杯、蓝藻类等,造礁生物类型较少而单调。早志留世时,造礁生物主要以横板珊瑚、层孔虫、苔藓虫、蓝藻类发育为特征,造礁生物类型增多。晚二叠世时,造礁生物以各种钙质海绵、水螅、苔藓虫、蓝藻类等为主,造礁生物多样。

(3)早寒武世主要为点礁、灰泥丘及生物滩。造礁生物为古杯、兰细菌类。凝块石灰泥丘、礁滩主要发育于仙女洞组中(镇巴以西),礁组合的厚度自北西向南东呈减薄的趋势。其特殊的大地构造背景和

相应的沉积环境,使该区古生代生物礁滩都较发育,主要产于碳酸盐台地边缘相带环境中,分布于陕南南郑、西乡、镇巴、紫阳等地和大巴山、米仓山南缘的四川南江一带。研究区礁滩层位自西向东有升高的趋势,在镇巴以西,礁滩发育于仙女洞组,在镇巴以东则发育于天河板组中。

(4)早志留世生物礁主要分布于四川盆地南北缘王家湾组、宁强组(北缘)和石牛栏组(南缘),生物礁类型主要为点礁、灰泥丘及生物层状礁等。造礁生物主要为珊瑚、层孔虫、苔藓虫及蓝细菌类等。

(5)晚二叠世生物礁以台地边缘礁和台内点礁

为代表。出露的礁体和井下钻遇的礁体主要呈近平行的成礁带分布,造礁生物主要为海绵。

参考文献 (References):

- [1] 叶俭, 杨友运, 许安东, 等. 陕南早寒武世生物礁 [C]//范嘉松主编. 中国生物礁与油气. 北京:海洋出版社, 1996:18-28.
Ye Jian, Yang Youyun, Xu Andong, et al. Cambrian reefs in southern Shanxi[C]//Fan Jiasong(ed.). Reefs and Oil Gas in China. Beijing:Ocean Press. 1996:18-28.
- [2] 张廷山, 沈昭国, 兰光志, 等. 四川盆地早古生代灰泥丘中的微生物及其造岩和成丘作用[J]. 沉积学报, 2002, (20)2:243-248.
Zhang Tingshan, Shen Zhaoguo, Lan Guangzhi, et al. Microbial Fossils and their biosedimentation & buildup in Paleozoic mud mounds, Sichuan basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, (20)2: 243-248(in Chinese with English abstract).
- [3] 姜刀煌, 张水昌, 等. 译. 生物标记化合物指南——古代沉积物和石油中分子化石的解释(Peters, K.E. and Moldowan, J.M. 作, 1993) [M]. 北京:石油工业出版社, 1995. p82-149.
Peters KE, Moldowan JM. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments. Prentice Hall, Inc., 1993 (Translated by Jiang Daihuang and Zhang Shuichang, et al)[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995. 82-149.
- [4] 蒲心纯, 叶红专. 中国南方寒武纪岩相古地理[C]//岩相古地理文集, 北京:地质出版社, 1991.
Pu Xinchun, Ye Hongzhan. Cambrian Sedimentary Facies and Palaeogeography of Southern China[C]//Cor. of Sedimentary Facies and Palaeogeography. Beijing: Geological Publishing House, 1991.
- [5] 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.
Zhang Tingshan, Lan Gaougzhi, Gao Weidong, et al. The Silurian Reefs in Northwestern Sichuan, China [M]. Chengdu: Chengdu Science & Technology University Press, 1994 (in Chinese with English abstract).
- [6] 方一亭, 边立曾, 俞剑华, 等. 晚奥陶世五峰期扬子板块沉积模式 [J]. 沉积学报, 1993, 11(3):7-12.
Fang Yiting, Bian Lizeng, Yu Jianhua, et al. Sedimentary environment pattern of Yangtze plate in Wufeng age of Late Ordovician [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1993, 11 (3):7-12(in Chinese with English abstract).
- [7] Krainer, Karl. Anthracoporella mounds in the Late Carboniferous Auernig Group, Carnic Alps (Austria) [J]. Facies, 1995, 32:195-214.
- [8] 张廷山, 边立曾, 俞剑华, 等. 陕西南宁强早志留世灰泥丘中微生物及其造岩意义[J]. 古生物学报, 2000, 39(2):263-266.
Zhang Tingshan, Bian Lizeng, Yu Jianhua, et al. Microbial fossils in lower Silurian micrite mound, Ningqiang, Southern Shanxi [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2000, 39 (2):263-266 (in Chinese with English abstract).
- [9] 陈旭. 论笔石的深度分带[J]. 古生物学报, 1990, 29(5):507-519.
Chen Xu. Graptolite depth zonation[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1990, 29(5):507-519(in Chinese with English abstract)
- [10] 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.
Zhang Tingshan, Lan Guangzhi, Chen Xiaohui, et al. Early Silurian siliciclastic-carbonate ramp deposits in NW Sichuan [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1995, 13 (4):27-36 (in Chinese with English abstract).
- [11] 贵州省地质矿产局. 贵州省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1987:484-485.
Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Guizhou Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987:484-485.
- [12] 张廷山, 陈晓慧, 边立曾, 等. 大地构造对上扬子区志留纪生物礁分布及发育的控制[J]. 沉积学报, 1996, 14(4):84-93.
Zhang Tingshan, Chen Xiaohui, Bian Lizeng, et al. Tectonic control of the Silurian reef distribution and development on Upper Yangtze Platform[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(4):84-93(in Chinese with English abstract).
- [13] 张廷山, 俞剑华, 边立曾, 等. 四川盆地南北缘志留系的锶和碳、氧同位素演化及其地质意义[J]. 岩相古地理, 1998, 18(3):41-49.
Zhang Tingshan, Yu Jianhua, Bian Lizeng, et al. Strontium, carbon and oxygen isotopic compositions and their geological significance: the Silurian strata on the northern and southern margins of the Sichuan basin[J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1998, 18 (3):41-49(in Chinese with English abstract).
- [14] 戎嘉余, 马科斯, 约翰逊, 等. 古喀斯特岩岸的地质意义——以黔中贵阳乌当志留纪岩岸为例[J]. 地质论评, 1996, 42(5):448-458.
Rong Jiayu, Markes E, Johnson, Zhao Yuanlong. Geological significance of an ancient karst rocky shoreline——a case study of an early Silurian rocky shoreline in Guizhou[J]. Geological Review, 1996, 42(5):448-458(in Chinese with English abstract).
- [15] Johnson M E, Rong Jiayu, Yang Xuechang. Intercontinental correlation by sea-level events in the Early Silurian of North American and China (Yangtze Platform) [J]. Geological Society of America Bulletin, 1985, 9:1384-1397.
- [16] 陈成生, 张继发. 川东、鄂西地区晚二叠世长兴期海绵礁的成岩历史及其油气信息[J]. 沉积学报, 1991, 9(2):44-52.
Chen Chengsheng, Zhang Jiqing. Diagenetic history and reservoir information of the Upper Permian Changxing Formation Calcisponge reefs in eastern Sichuan and western Hubei [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1991, 9(2):44-52(in Chinese with English abstract).
- [17] 王一刚, 文应初, 张帆, 等. 川东地区上二叠统长兴组生物礁分布规律[J]. 天然气工业, 1998, 18(6):10-15.
Wang Yigang, Wen Yingchu, Zhang Fan, et al. Distribution law of the organic reefs in Changxing Formation of Upper Permian in east Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 1998, 18 (6):10-15 (in Chinese with English abstract).
- [18] 王一刚, 洪海涛, 夏茂龙. 四川盆地二、三叠系环海槽礁、滩富气带勘探[J]. 天然气工业, 2008, 28(1):22-27.
Wang Yigang, Hong Haitao, Xia Maolong, et al. Exploration of reef-bank gas reservoirs surrounding Permian and Triassic Troughs

- in Sichuan Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2008, 28 (1):22-27(in Chinese with English abstract).
- [19] 牟传龙, 谭钦银, 余谦, 等. 川东北地区上二叠统长兴组生物礁组成及成礁模式[J]. *沉积与特提斯地质*, 2004, 23(3):65-71.
Mou Chuanlong, Tan Qinyin, Yu Qian, et al. The organic reefs and their reef-forming model for the Upper Permian Changxing Formation in northeastern Sichuan [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2004, 23 (3):65-71 (in Chinese with English abstract).
- [20] 马永生, 牟传龙, 郭旭升, 等. 四川盆地东北部长长期沉积特征与沉积格局[J]. *地质论评*, 2006, 52(1):25-29.
Ma Yongsheng, Mu Chuanlong, Guo Xusheng, et al. Characteristic and Framework of the Changxingian Sedimentation in the Northeastern Sichuan Basin [J]. *Geological Review*, 2006, 52(1): 25-29(in Chinese with English abstract).
- [21] 李心如, 刘效曾. 川东地腹长兴礁岩的成岩作用和孔隙演化特征[J]. *成都地质学院学报*, 1991, 18(1):111-117.
Li Xinru, Liu Xiaozeng. Diagenesis and porosity evolvement of Changxing reefs in eastern Sichuan [J]. *J.of Chengdu College of Geology*, 1991, 18(1):111-117(in Chinese with English abstract).
- [22] 谢继容. 川东长兴组生物礁的高分辨率层序地层研究[J]. *矿物岩石*, 2002, 22(1):49-54.
Xie Jirong. Research of the high-resolution sequence stratigraphy reef association in Changxing Formation of Permian, east Sichuan[J]. *J. Miner. Petrol*, 2002, 22 (1):49-54 (in Chinese with English abstract).
- [23] 李登华, 唐跃, 殷积峰, 等. 川东黄龙场构造上二叠统长兴组生物礁特征与潜伏礁预测[J]. *中国地质*, 2006, 33(2):427-435.
Li Denghua, Tang Yue, Yin Jifeng, et al. Features of organic reefs in the Upper Permian Changxing Formation and prediction of hidden reefs in Huanglongchang structure, eastern Sichuan [J]. *Geology in China*, 2006, 33(2):427-435(in Chinese with English abstract).

Characteristics and controlling factors of development of Paleozoic reef-banks in the Sichuan basin

ZHANG Ting-shan, JIANG Zhao-yong, CHEN Xiao-hui

(Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China)

Abstract: Paleozoic reefs are mainly distributed in Early Cambrian, Early Silurian and Late Permian strata in the Sichuan basin. Geographically, they occur in the Daba and Micang mountains on the northern and northeastern margins of the Sichuan basin (Early Cambrian reefs), on the northern and southern margins of the Sichuan basin (Early Silurian reefs) and western Hubei, eastern Chongqing and northeastern Sichuan (Late Permian reefs). The Early Cambrian reef-bank association includes patch reefs, lime-mud mounds and oolitic shoals. Reef-building organisms are archaeocyatha and cyanobacteria and organisms attached to reefs are trilobites, brachiopods, crinoids and sponges. Controlled by sea-level fluctuation, reefs have cyclicity and from west to east the horizons are raised gradually. Early Silurian reefs include patch reefs, lime-mud mounds and biostromes. Reef-building organisms are mostly corals, stromatoporoids, polyzoa and cyanobacteria. Their distribution are controlled by terrigenous clastic-carbonate gentle slope affected by oldland and also related to sea-level fluctuations. Late Permian reefs are inner platform patch reefs and platform marginal reefs. Reef-building organisms are primarily sponges. Reef growth and distribution have a close relation with the paleogeomorphological framework and sea level fluctuations.

Key words: reef; development and distribution; Early Paleozoic; Sichuan basin

About the first author: ZHANG Ting-shan, male, born in 1961, professor and doctor, mainly engages in research on sedimentary geology; E-mail: zts_3@126.com.