

渝东南地区下志留统石牛栏组生物礁沉积特征

谭先锋^{1,2},李志军^{1,2},蒋艳霞³,李洁⁴,李航²

(1. 复杂油气田勘探开发重庆市重点实验室,重庆 404331; 2. 重庆科技学院 石油与天然气工程学院,重庆 401331; 3. 成都理工大学 地球科学学院,四川 成都 610059; 4. 重庆地质矿产研究院 外生成矿与矿山环境重庆市重点实验室,重庆 400042)

摘要:渝东南地区下志留统石牛栏组发育一定规模的生物礁。以重庆万盛机枪台剖面 and 贵州习水吼滩剖面为主要对象,利用野外观察、普通薄片、碳/氧同位素等手段,对研究区下志留统石牛栏组生物礁进行了详细研究。结果表明,研究区生物礁主要发育石牛栏组中上部,且具有一定规模;岩石结构及碳/氧同位素变化揭示了该时期海平面由缓慢上升到急剧下降的变化过程,沉积环境表现为早期浅水混积陆棚—中期生物礁滩沉积—晚期礁前斜坡沉积的演化过程,水体环境适合珊瑚礁及生物群落的大量繁殖。由此证实了渝东南地区下志留统石牛栏组生物礁发育主要受海平面变化及陆源碎屑物质注入的影响,海平面的缓慢变化是生物礁发育的基本条件,陆源碎屑物质的多少制约了生物礁的发育过程。

关键词:生物礁;石牛栏组;下志留统;渝东南地区

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Sedimentary characteristics of bioherm in the Lower Silurian Shiniulan Fm, southeastern Chongqing

Tan Xianfeng^{1,2}, Li Zhijun^{1,2}, Jiang Yanxia³, Li Jie⁴, Li Hang²

(1. Chongqing Key Laboratory of Complex Oil and Gas Exploration and Development, Chongqing 401331, China; 2. Oil and Gas Engineering Institute, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China; 3. Earth Sciences Faculty, Chengdu University of Science and Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 4. Chongqing Key Laboratory of Exogenic Mineralization and Mine Environment, Chongqing Institute of Geology and Mineral Resource, Chongqing 400042, China)

Abstract: A certain amount of bioherm are developed in the Lower Silurian Shiniulan Formation in southeastern Chongqing. Taking the Jiqiangtai outcrop in Wansheng of Chongqing and Houtan outcrop in Xishui of Guizhou as the main study targets, we studied in detail the bioherm in the Lower Silurian Shiniulan Formation through field observation, ordinary thin section observation and carbon/oxygen isotope measurement. The bioherms mainly occur in the Upper and Middle Shiniulan in the study area and have a certain scale. Rock structure and carbon/oxygen isotopes reveal a change of sea level from slow rising to sharp declining. Depositional environment developed from shallow mixed continental shelf in the early stage to biological reef-shoal in the middle stage and finally to reef-front slope in the late stage. The aquatic environment was suitable for the coral bioherms and biological communities to thrive. The development of bioherm in the Lower Silurian Shiniulan in southeastern Chongqing was mainly affected by sea-level changes and terrigenous clastics input. Slow change of sea level was the basic condition for bioherm growth and the amount of terrigenous clastics input controlled the process of bioherm development.

Key words: bioherm, Shiniulan Formation, Lower Silurian, southeastern Chongqing

生物礁的研究迄今已经 200 多年历史,从 Walther 开始,国外学者对其进行了严格的定义,到 20 世纪 70 年代 Dunham 提出礁的双重概念(地层礁和生态礁),至此,生物礁的定义有了跨时代的发展。针对生物礁的概念繁多,难以掌握,国内学者范嘉松综合考虑,建议把繁琐的概念统一成一个基本的术语——“岩隆礁”或称“碳酸盐隆礁”。国内部分学者对生物礁的概

念仍存在分歧^[1]。曾鼎乾认为礁是由原地生长的造礁生物营造,具有抗浪格架、凸透镜或丘状的外部形态,并突出与四周同期沉积物,前后常形成不同的相带,强调生物的有机成因、抗浪构造的重要性以及突出于同期沉积物的外部形态^[2]。梅冥相认为生物礁是一种独特的沉积体系,是由复杂的物理、化学、生物综合作用形成的具有抗浪性的特殊碳酸盐岩体^[3]。齐文同认

收稿日期:2013-10-09;修订日期:2013-12-24。

第一作者简介:谭先锋(1982—),男,博士、副教授,沉积地质与古环境研究。E-mail: xianfengtian8299@163.com。

通讯作者简介:李志军(1977—),男,博士、副教授,油气田开发地质。E-mail: lzjyjkj@126.com。

基金项目:重庆市自然科学基金项目(cstc2012jjA90007);国家自然科学基金项目(41202043)。

为,礁是由生物构成,包括造架生物、联结包覆生物和礁栖生物,且与生物的长期演化、灭绝和复苏密切相关,反映环境特征甚至全球变化的是生物礁^[4]。这些概念的提出有利于推动中国生物礁的研究。

生物礁的研究对于油气、沉积环境、古气候变化的重要意义,近 20 年来,关于生物礁的研究报道较多。国内不少学者很早就分别对湖北宜昌早奥陶世生物礁进行研究,对奥陶系生物礁的形态特征及储层进行了详细探讨^[5-9],近年来,中上扬子地区二叠纪生物礁研究也成为热点,陆廷清等详细总结了我国南方二叠纪生物礁的成礁模式^[10];其他学者也分别对二叠纪生物礁进行了研究,时代主要包括长兴期和茅口期^[11-13],特别是长兴期生物礁是川东北地区近年来礁滩相油气勘探的重点内容。志留纪生物礁的报道相对较少,张廷山曾对中上扬子地区志留纪生物礁进行了专题研究^[14-15],重点探讨了四川盆地志留纪生物礁的控制因素,近 5 年来,关于志留纪生物礁的报道鲜有涉及。本文以渝东南-贵州桐梓地区志留纪珊瑚礁为研究对象,对珊瑚礁的产出特征以及形成环境进行初步探讨。

1 区域地质背景

研究区位于重庆东南部地区的万盛与贵州桐梓地区附近(图 1),大地构造上属于中上扬子地区,区域位置上,属于浅海陆棚沉积环境。近几年,部分学者开始对该地区进行研究。川南地区下志留统石牛栏组为一套缓坡陆棚基础上沉积起来的台地沉积,沉积体系在空间展布特征上表现为由南向北的从碎屑滨岸—局限台地—开阔台地—生物礁/滩—台地边缘斜坡—浅水陆棚—泥质浅水陆棚—深水陆棚变化,在垂向上则由泥/灰质深水—浅水陆棚—碳酸盐台地的变化^[16]。

从空间变化上来看,研究区石牛栏组中晚期,存在一定规模的生物礁,而实际剖面观察属于珊瑚礁。渝东南万盛-贵州桐梓地区下志留统石牛栏组分布有一

定规模的生物礁,主要造礁生物为珊瑚,生物礁可进一步分为台地边缘生物礁和台内点礁^[16]。典型的台地边缘生物礁见于贵州习水土河坝剖面,该类礁体横向上呈串珠状向东北延伸至温水一带,经重庆綦江观音桥、万盛关坝机枪台剖面到贵州桐梓韩家店尖灭,向西南与四川长宁生物礁(滩)相连,至四川珙县狮子滩尖灭,礁体厚可达 30 m。

2 典型剖面生物礁发育特征

渝东南地区及黔北地区发育有珊瑚礁,前人在綦江观音桥剖面报道了生物礁^[17]。本次对该地区 4 条剖面进行了实地观察,实际上发育最好的万盛关坝地区的机枪台剖面,綦江观音桥剖面、贵州习水吼滩剖面生物礁发育并不明显,多为生物灰岩。

2.1 万盛机枪台剖面生物礁地层特征

机枪台剖面位于重庆万盛地区机枪台,地理位置与贵州交界,根据地层出露,由于底部地层出露较差,该剖面进行了详细的地层测量,划分出 11 层。底部主要为薄层状泥晶灰岩与钙质泥岩互层,中部为生物碎屑灰岩,中、上部主要为生物礁灰岩及生物碎屑灰岩,礁体大约 27 m;顶部主要为薄层状砂屑、粉屑灰岩夹泥质条带。具体剖面描述见图 2。

2.2 习水吼滩剖面生物礁地层特征

吼滩剖面位于贵州习水吼滩,地层出露较好。依据实测情况,对剖面进行了详细分层,共划分出 28 层,顶底接触关系非常清楚。底部主要为薄层状泥质灰岩、泥晶灰岩、砂质泥岩、钙质泥岩互层,中、下部主要为中层状泥晶灰岩、生屑灰岩,中上部主要为中厚层状疙瘩灰岩、生物碎屑灰岩、礁灰岩,具有滑塌变形构造,顶部主要为生物灰岩、砾屑、生屑灰岩,夹砾石碎屑流。详细剖面描述见图 3。

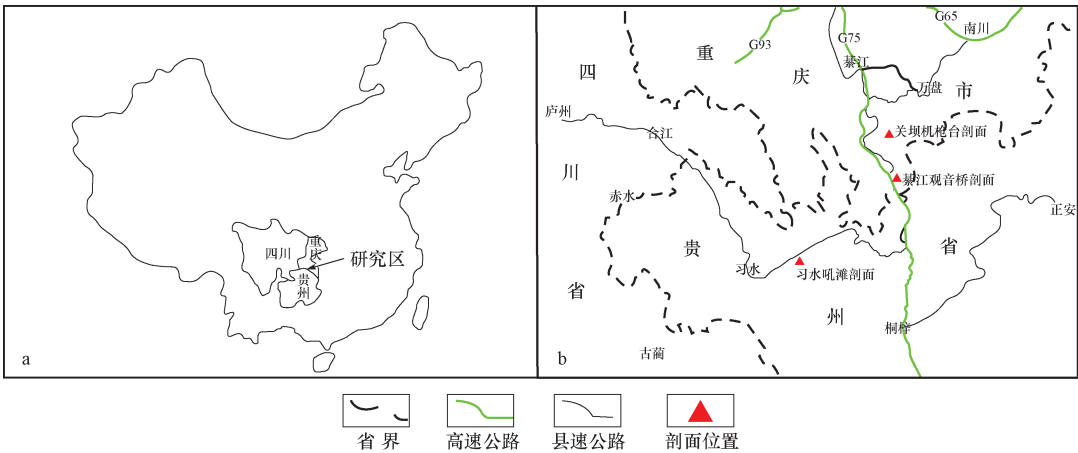


图 1 研究区位置 a) 及剖面分布 b) 示意图

Fig. 1 Location of the study area(a) and position of profiles(b)

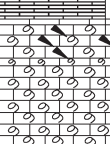
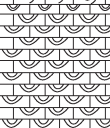
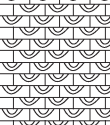
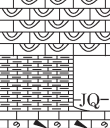
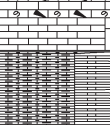
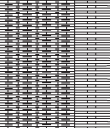
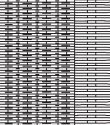
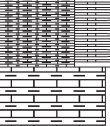
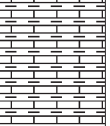
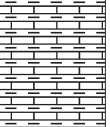
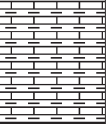
地层系统			分层	层厚/m	累计厚度/m	岩性剖面	典型照片	岩性描述	环境解释
系	统	组							
志留系	中统	韩家店组	11		150			底部灰绿色粉砂质页岩，水平层理为主，局部波状及小型斜层理	台缘斜坡
			10	4.5	140			灰色薄层状砂屑、粉屑灰岩，含陆源粉砂，夹褐黄色泥质或粉砂质条带，具小型斜层理	
			9	2.5				灰色薄-中层粉屑灰岩，层面具龟裂纹构造	
			8	3				灰色厚层生屑、砂屑灰岩，具疙瘩状构造	
		7	8	130			灰-浅灰色块状生物灰岩，生物种类主要为群体珊瑚，约占10%~20%，另有双壳类、螺类，岩石中夹较多浅黄色条带将岩石分隔，疑似海绵、水螅类生物	生物滩	
		6	27	120			浅灰色块状生物礁灰岩，岩石中含大量生物化石，生物礁骨架为多种群体珊瑚，含量约占30%~60%，另有较多双壳类、螺类及三叶虫类，仍有黄灰色泥质条带，疑似海绵或水螅生物类，呈网状分布，含黄铁矿晶体		
				110					
				100					
				90					
		5	5				褐灰色、黄灰色薄层状至页状层泥质灰岩，其间夹较多黄灰色粉砂质或泥质条带，底部约1m黄绿色钙质页岩	浅水混积陆棚	
		4	3				灰-浅灰色中层状生屑灰岩，粉屑灰岩		
	3	3				褐灰色、黄灰色粉屑、砂屑灰岩，具页状层和变形构造			
	2	35	80			极薄层灰色砂屑、生屑灰岩与黄灰色泥质灰岩交互沉积，因强烈变形致使刚性岩石被挤断，下部泥质含量明显增大			
			70						
			60						
			50						
	1	50	40			出露不好，主要为薄层状灰岩和泥岩互层			
			30						
			20						
			10						
	0					灰色泥岩、页岩			
	下统	牛栏组	0						

图 2 重庆万盛关坝地区机枪台剖面生物礁沉积特征

Fig. 2 Depositional characteristics fo bioherm on Jiqiangtai outcrop in Wansheng of Chongqing

地层系统			分层	层厚/m	累计厚度/m	岩性剖面	典型照片	岩性描述	环境解释
系	统	组							
志留系	中统	韩家店组	28		150	HT-40		黄绿色页岩	生物滩
						HT-39		灰色薄-中层砾屑、生屑灰岩，夹砾石碎屑流	
			27	6	140		28层珊瑚	灰色-浅灰色，中厚层块状生物灰岩，生物化石较完整，局部有少量群体珊瑚	
			26	6				灰-浅灰色厚层块状生屑、生物灰岩，下部约0.5m因泥质条带具变形构造，上部为少量滑塌形成的紫红色灰岩砾块	
			25	3.5	130	HT-38		褐灰色薄-中层、砂屑、生屑灰岩，具小型斜层理	
			24	1		HT-37		自下而上为灰-浅灰色厚层状生屑灰岩，含泥质灰岩，泥质灰岩	
			23	3.5		HT-36	27层S ₂ h/S ₁ s分界	绿灰色薄-中层状泥质灰岩，夹灰色生屑灰岩，向上泥质含量增加，并含粉砂，局部过渡为钙质泥岩、页岩	浅水混积陆棚
			22	6		HT-35		灰色中层状含泥质生物灰岩，生物以较细小的双壳类，螺类为主	生物滩
			21	2.5	120	HT-34		灰-浅灰色，厚层含泥质灰岩，含少量生物化石	
			20	1.5		HT-33		下部为灰色生屑灰岩，局部含完整珊瑚及双壳，向上逐渐变为薄-中层含粉砂泥质灰岩	
			19	3.5	110	HT-32	26层斜坡滑塌现象	灰-浅灰色中-厚层生屑灰岩，生物化石为双壳，螺类为主	
			18	2.5		HT-31		黄灰色薄-中层含粉砂泥质灰岩，局部为灰质泥岩，水平层理为主，含小型斜层理，含少量生物，层面具虫孔、虫迹	浅水混积陆棚
			17	7		HT-30		灰色-浅灰色厚层状砂屑灰岩，生屑灰岩，含陆源粉砂具低角度交错层理	生物滩
			16	5	100	HT-29	25层变形构造	黄灰色中层状砂屑、粉屑灰岩，夹浅灰色生物碎屑灰岩，粉屑、砂屑灰岩中具低角度交错层理，中上部含陆源粉砂条带岩性坚硬	
	下统	牛栏组	15	14	90	HT-28		灰-深灰含泥质灰岩，具疙瘩状构造，结构上普遍含生物化石或生物化石碎屑，双壳类为主，局部具眼球状构造	台缘斜坡
						HT-27		灰-深灰色泥质灰岩，中层状，成分不均匀，夹极薄泥质条带，具疙瘩状构造，普遍含砂屑、粉屑	
						HT-26	21层生物灰岩	浅灰-灰色，厚层-块状层，具疙瘩状灰岩，局部含泥质稍重	
						HT-25		褐灰色中层状泥质灰岩，成分不均匀，具疙瘩状构造上部为生物化石含量明显增多，过渡为生物(碎屑)灰岩	
						HT-24	18层群体珊瑚	底部深灰色泥质灰岩，向上过渡为灰色含泥质灰岩，上部为疙瘩状构造，成分不均匀，呈中层状	
			14	12	80	HT-23		褐灰色薄-中层灰质泥岩为主，顶部为灰色泥质灰岩	浅水混积陆棚
						HT-22		褐黄色含钙粉砂质泥岩或页岩为主，夹少量薄层泥质灰岩	
						HT-21		深灰色薄层灰质泥岩或泥质灰岩	
						HT-20	11层生物碎屑疙瘩状灰岩	深灰色薄层泥质灰岩为主，夹少量褐色钙质页岩，下部为一层厚约0.5m灰色含泥质灰岩	
						HT-19		深灰-灰色薄-中层含泥质灰岩，含少量生物化石	
			13	6	70	HT-18		深灰色薄层泥质灰岩与褐黄色粉砂质泥岩不等厚互层	
			12	5	60	HT-17	6层灰岩与泥岩互层	褐黄色含钙薄层粉砂质泥岩为主，夹少量深灰色薄层泥质灰岩	
			11	4		HT-16		深灰色薄层泥质灰岩为主，夹少量褐黄色含钙粉砂质泥岩	
			10	6	50	HT-15		褐黄色含钙薄层粉砂质泥岩为主，夹少量深灰色薄层泥质灰岩	
			9	5	40	HT-14		褐黄色含钙薄层粉砂质泥岩为主，夹少量深灰色薄层泥质灰岩	
	统	组	8	10		HT-13	2层S ₁ s/S ₁ l分界	灰色泥岩、页岩	
			7	3	30	HT-12			
			6	11		HT-11			
			5	2	20	HT-10			
			4	9	10	HT-9			
			3	3.5		HT-8			
			2	2		HT-7			
			1	3.5		HT-6			
0				0	HT-5				

图 3 贵州习水吼滩剖面生物礁沉积特征

Fig. 3 Depositional characteristics of bioherm on Houtan outcrop in Xishui of Guizhou province

3 典型剖面生物礁沉积环境

野外观察表明,石牛栏组分为4个岩性段:第一段、第三段为泥岩、页岩及泥质灰岩发育段,多呈互层产出(图4);第二段、第四段为灰岩发育段。生物礁及生物灰岩类大量发育于二段和四段。下覆地层为下志留统龙马溪组黑色页岩,上覆地层为中志留统韩家店组黄褐粉砂岩夹页岩(图5)。

通过对两条典型剖面进行沉积结构、构造、岩性组合分析,结合前人对该地区现有的研究成果,对该地区石牛栏组生物礁发育的沉积环境演化进行了深入研究。纵向演化上,底部覆盖于下志留统龙马溪组之上为一套薄层的砂纸泥岩、泥质砂岩、泥质灰岩成薄层互层(图4),陆源碎屑物质含量较高,碳酸盐中含有大量陆源碎屑石英(图6a),泥岩中也具有大量的陆源碎屑石英(图6b)。纵向上,随着时间的推移,陆源粉砂含量逐渐减少。综合石牛栏组下部一段地层特征,该段地层具有典型的混合沉积的特征,属于典型的混



图4 石牛栏组底部薄层泥质灰岩与泥质粉砂岩互层

Fig. 4 Interbedded thin argillaceous limestone and argillaceous siltstone at the bottom of Shiniulan Formation



图5 韩家店组/石牛栏组分界线

Fig. 5 Geological boundary between the Hanjiadian and Shiniulan Formations

积陆棚沉积环境(图7)。研究区石牛栏组二段地层岩性主要为泥质灰岩,少量夹泥岩、灰岩和生物灰岩,该类沉积特征证实研究区在该时期可能处于台地斜坡沉积环境,局部地区发育了少量的生物礁滩沉积,从野外观察来看,在贵州习水的吼滩剖面,发育了少量的生物灰岩及生物礁灰岩。研究区石牛栏组三段总体来说发育的是混积陆棚环境,但从演化规律上看,局部发育了少部分的生物滩,从沉积物组成特征来看,混入了大量的陆源碎屑石英(图6c)。研究区石牛栏组四段主要为生物灰岩及生物礁灰岩,从剖面上看,吼滩剖面四段主要为带有滑塌沉积构造的生物礁灰岩,机枪台剖面主要为珊瑚礁灰岩以及生物灰岩(图2)。微观特征表明,珊瑚礁骨架的确存在,而且存在大量的生物化石(图6d)。图7的综合图显示,机枪台石牛栏组四段晚期主要为含陆源碎屑物质的灰岩,这可能是该地区石牛栏晚期导致生物礁急剧灭亡的主要原因之一。

对两条典型剖面进行了样品采集、共计29个样品点,样品采集均为原生碳酸盐沉积,并非方解石脉等后期产物,并进行无机碳、氧同位素分析(表1),建立了两条典型沉积剖面的同位素纵向演化剖面(图7)。机枪台剖面,纵向上, $\delta^{13}\text{C}$ 值有逐渐增高的趋势(表1,图7), $\delta^{18}\text{O}$ 值呈多旋回变化;吼滩剖面,纵向上 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值均表现出呈多旋回级次变化。 $\delta^{13}\text{C}$ 值在成岩变化过程中也具有一定影响,但影响不大, $\delta^{18}\text{O}$ 值在成岩变化过程中受成岩作用影响较大,越接近正常海相碳酸盐,测试值越可靠。Veizer等指出,显生宙海相碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 值一般分布在 $-1\text{‰} \sim 2\text{‰}$,正常海水一般保持在0。前人研究表明, $\delta^{13}\text{C}$ 值较高一般代表海平面的上升, $\delta^{13}\text{C}$ 值较低一般代表海平面的下降^[18]。从两条剖面的 $\delta^{13}\text{C}$ 演化曲线来看,两条剖面有着相似的演化规律,尽管两条剖面所处的位置有所差异,但从从下到上的演化规律来看,表现为海平面的缓慢上升,然后到石牛栏组的晚期,有一次海平面的急剧下降,导致了生物礁的死亡。同位素的演化规律从海平面的角度诠释了该地区的沉积环境从浅水混积陆棚-台地边缘礁滩-台地边缘的演化规律。另外还发现,生物礁或者生物灰岩存在的地方 $\delta^{13}\text{C}$ 值比较高,原因可能是生物礁的大量存在吸取了大量的重同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 。尽管氧同位素受影响的因素较大,但仍具有一定的规律。氧同位素在古海洋环境中,一般用于研究古海洋的温度。一般而言, $\delta^{18}\text{O}$ 值高对应温度的低值, $\delta^{18}\text{O}$ 值低对应温度的高值,从分析数据来看,生物大量发育的生物礁区域, $\delta^{18}\text{O}$ 值较高,对应温度较低。说明礁体发育的部位氧同位素高于非礁体发育的部位。部分数据出现了偏差,很有可能跟岩石暴露大气当中,受大气淡水

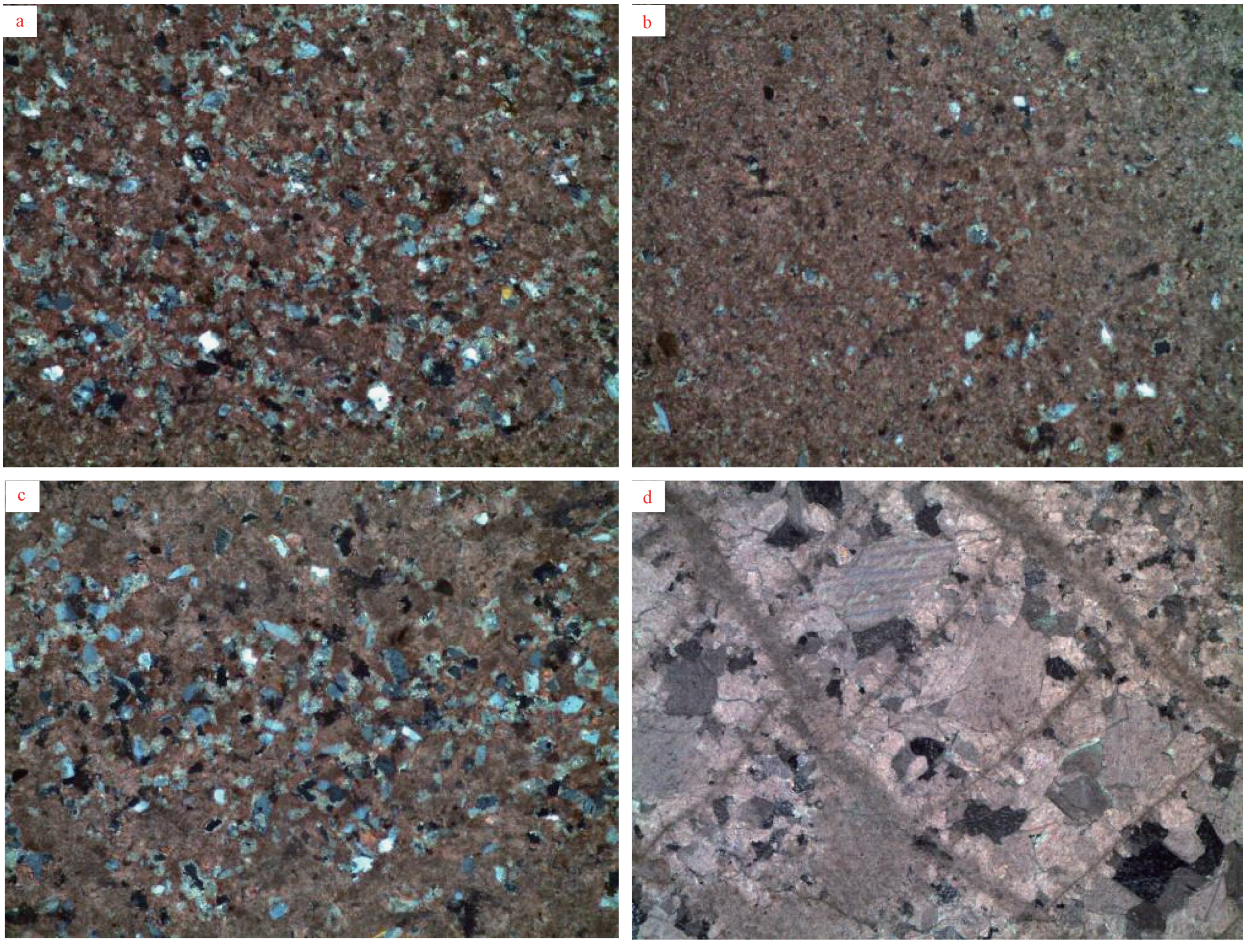


图 6 石牛栏组岩石微观结构特征

Fig. 6 Microscopic structural features of rocks in the Shiniulan Formation

a. 石牛栏组底部灰岩中含大量碎屑石英, 吼滩剖面; b. 石牛栏组底部粉砂质泥岩, 吼滩剖面; c. 石牛栏组三段灰岩中含有大量陆源碎屑石英, 机枪台剖面; d. 石牛栏组四段生物礁灰岩, 机枪台剖面

的影响。因此,从地球化学的角度,碳、氧同位素规律均符合了该地区石牛栏组的沉积环境演化规律。

4 沉积环境对珊瑚礁的影响

珊瑚礁发育主要受海底地形、地形构造高点、盆地沉降及海平面升降、陆源碎屑物质的输入量等方面的影响。现代海洋环境中的珊瑚礁主要发育在南北纬30°之间的正常浅海环境。这种环境往往具有水流畅通、透光较好、水体温度和盐度等环境条件,在这种环境下面,珊瑚能够得到繁殖,一旦环境发生改变,珊瑚礁就会死亡。尽管古代珊瑚礁和现代珊瑚礁在形态结构上有所差异,但是在环境的生态系统方面具有极大的相似性。

前面对研究区古地理面貌进行了恢复,结果表明,该地区主要的古地理环境为碳酸盐浅海陆棚到生物滩及建隆起的发展过程(图 8)。石牛栏组早期,受龙马溪组晚期海平面急剧下降的影响,整个研究区主要为浅海陆棚环境,且陆源碎屑物质充足,总体

沉积了一套泥质灰岩、砂质灰岩、砂质泥岩等,岩性上多为薄层状,从前面描述的两条剖面沉积特征来看,完全符合了混合沉积的混积陆棚的沉积模式;随着海平面的缓慢上升,陆源碎屑物质的影响逐渐减弱,研究区从混合沉积区逐步变成正常的海洋沉积区,生物开始繁盛,珊瑚、有孔虫等开始大量繁殖,生物碎屑滩坝开始慢慢沉积下来,因此跟两条剖面中部的生物碎屑灰岩、砂屑灰岩完全吻合;随着生物碎屑滩的逐渐堆积,地形开始逐渐变高,形成了一个海底隆起,加之海洋环境完全适合珊瑚礁的大量繁殖,形成珊瑚礁,值得注意的是,该时期除了珊瑚礁的大量繁殖之外,还出现了大量的生物群落,如层孔虫、水螅、有孔虫等生物群落(图 9),说明该时期水体环境适合生物的大量繁殖。研究表明,该礁体厚度约 20~30 m,核心可达 50 m 左右,从吼滩和机枪台两条剖面来看,机枪台剖面由于发育有生物礁,地层比吼滩剖面厚约 30 m。到石牛栏组晚期,由于海平面急剧下降,研究区受陆源碎屑物质影响较大,主要表现在灰岩中含有大量石英砂,该时期礁体环境迅速

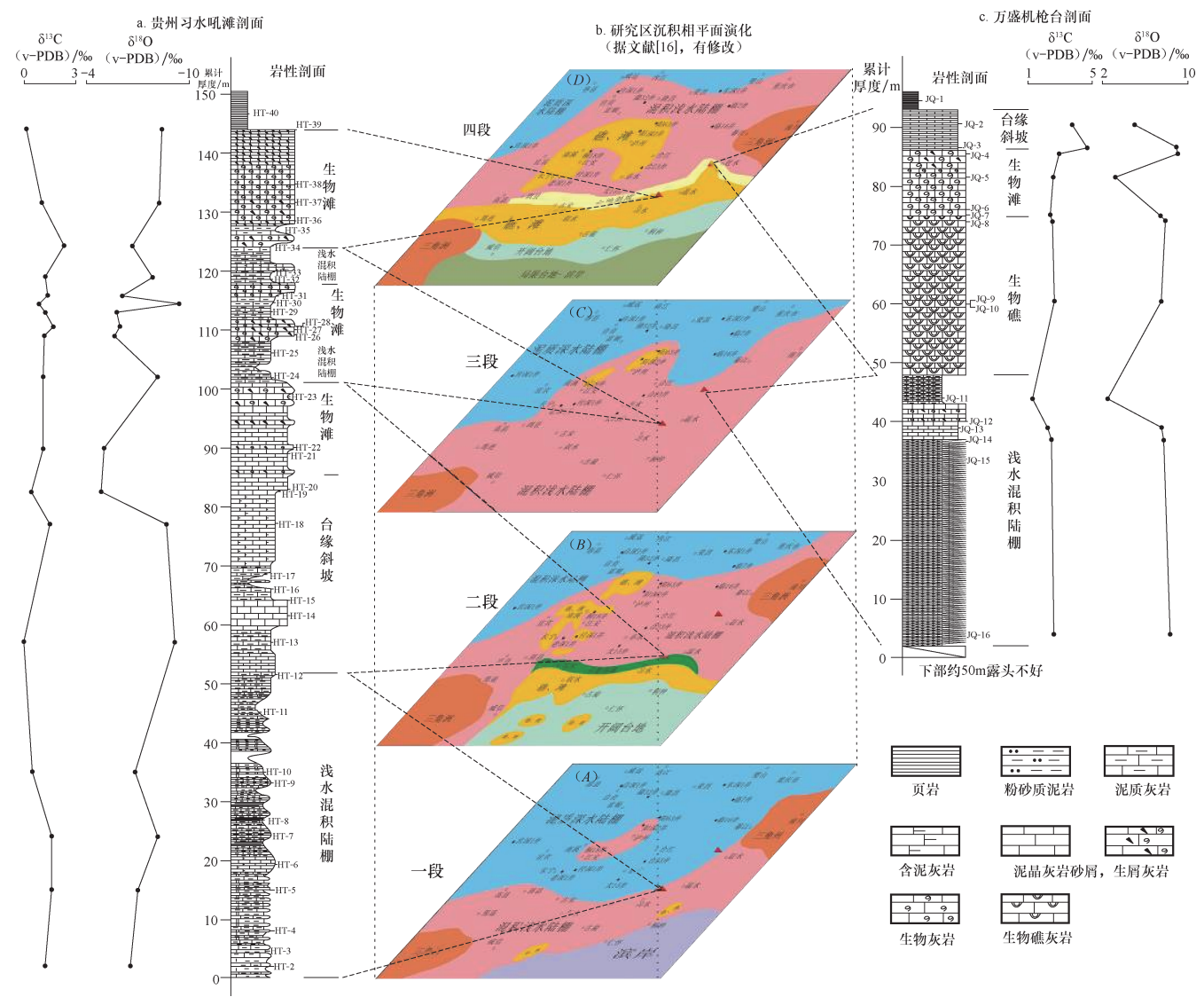


图 7 典型剖面沉积相演化

Fig. 7 Sedimentary evolution of typical outcrops

表 1 典型剖面无机碳、氧同位素分析

Table 1 Inorganic Carbon and Oxygen isotope values of typical outcrops

样品号	岩性	$\delta^{13}\text{C}(\text{V-PDB})/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}(\text{V-PDB})/\text{‰}$	样品号	岩性	$\delta^{13}\text{C}(\text{V-PDB})/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}(\text{V-PDB})/\text{‰}$
GJQ-2	砂屑灰岩	3.15	-5.05	HT-13	泥质灰岩	0.00	-9.13
GJQ-3	粉屑灰岩	4.48	-8.90	HT-18	泥质灰岩	1.52	-8.68
GJQ-4	生屑灰岩	1.90	-9.03	HT-19	砂屑灰岩	0.41	-4.82
GJQ-5	生物灰岩	1.34	-3.22	HT-22	砂屑灰岩	1.15	-5.99
GJQ-7	生物灰岩	1.05	-7.51	HT-24	含粉砂泥质灰岩	1.11	-8.12
GJQ-8	生物礁灰岩	1.29	-7.88	HT-26	生屑灰岩	1.21	-5.61
GJQ-9	生物礁灰岩	1.47	-7.54	HT-28	生屑灰岩	1.71	-5.93
GJQ-11	泥质灰岩	-0.47	-2.56	HT-29	生屑灰岩	1.25	-5.75
GJQ-13	粉屑灰岩	0.84	-7.58	HT-30	泥质灰岩	0.92	-9.41
GJQ-14	泥质灰岩	1.20	-7.72	HT-31	含泥生物灰岩	1.44	-6.04
GJQ-16	泥质灰岩	1.37	-8.33	HT-33	泥灰岩	1.28	-7.84
HT-2	含钙粉砂质泥岩	1.25	-6.54	HT-34	生屑灰岩	2.38	-6.68
HT-5	泥质灰岩	1.63	-6.99	HT-37	生物灰岩	1.08	-8.22
HT-7	泥质灰岩	1.60	-8.20	HT-39	生屑灰岩	0.14	-8.46
HT-10	含钙粉砂质泥岩	0.50	-6.83				

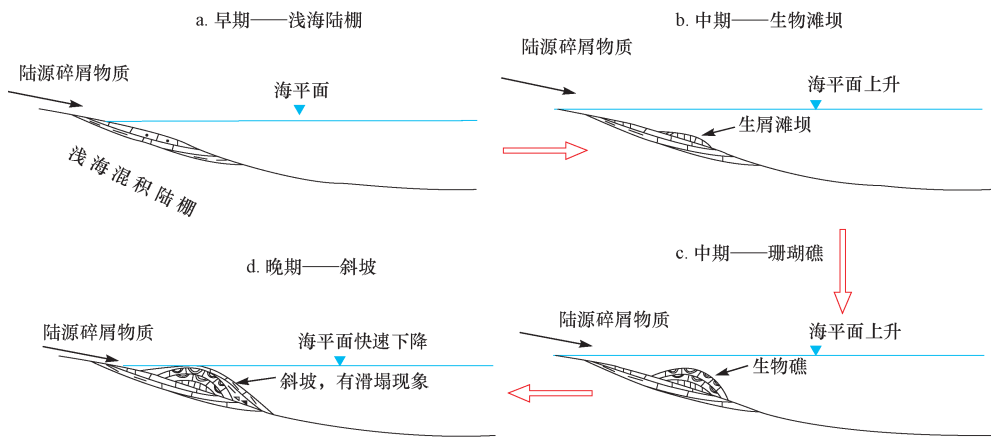


图 8 研究区沉积环境演化与珊瑚礁形成模式

Fig. 8 Sedimentary environment evolution and coral bioherm formation mode in the study area

遭到破坏,在礁体靠近陆源一方变成了浅海陆棚的混合沉积,礁体前方则变成了斜坡环境,吼滩剖面石牛栏组顶部发育的滑塌构造很好的证实斜坡的存在(图 10)。

通过对生物礁的形成环境进行系统研究表明,石

牛栏组生物礁的主要控制因素为海平面变化和陆源碎屑物质的注入。陆源碎屑物质充足的地方,生物礁不发育,陆源碎屑物质影响较小的地方,生物礁发育;另外,生物礁的生长和大量生物群落的出现,说明该地区在石牛栏组中晚期,海洋环境非常适宜生物的繁殖,水体环境处于温暖、安静的自然水体。海平面的缓慢上升成为生物礁得以繁盛的另一个主要原因,环境的缓慢变化,水体的缓慢增加使生物礁能完全适应这种变化,并不断加积建隆,形成一定规模的生物礁体。

5 结论

1) 重庆万盛机枪台剖面 and 贵州习水吼滩剖面发育生物礁,主要为台地边缘礁,造礁生物为珊瑚。生物礁主要发育在下志留统石牛栏组上部,厚度 20 ~ 30 m,形态上呈带状分布,具有一定的规模,局部地方发育少量点礁。

2) 石牛栏组下部岩性主要为泥质灰岩、粉砂质泥岩等混合沉积,中部为生物灰岩及生物礁灰岩,顶部主要为泥灰岩等;该时期海平面表现为缓慢上升到急剧下降的变化过程,沉积环境表现为早期浅水混积陆棚 - 中期生物礁滩沉积 - 晚期礁前斜坡沉积的演化过程,水体环境适合珊瑚礁及生物群落的大量繁殖。

3) 渝东南地区下志留统石牛栏组生物礁发育主要受海平面变化及陆源碎屑物质注入的影响,早期海平面的缓慢变化有利于生物礁的形成,晚期海平面的快速下降导致生物礁的死亡;陆源碎屑物质充足时期,生物礁停止生长,陆源碎屑物质不充足时期,生物礁大量发育。

参 考 文 献

[1] 范嘉松. 古代生物礁研究的若干问题——兼论我国西南地区二



图 9 珊瑚礁格架中的生物群落

Fig. 9 Biomes in the framework of coral bioherm



图 10 礁前斜坡滑塌构造

Fig. 10 Slump structures on the reef-front slopes

- 叠系生物礁的类型[J]. 石油与天然气地质, 1988, 9(1): 46–55.
- Fan Jiasong. Several questions of ancient reefs studies—discussion southwest China Permian reef types[J]. Oil & Gas Geology, 1988, 27(2): 130–136.
- [2] 曾鼎乾, 刘炳温, 黄蕴名. 中国各地历史时期生物礁[M]. 北京: 石油工业出版社, 1988.
- Zeng Dingqian, Liu Bingwen, Huang Yunming. Each historical periods reefs in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1988.
- [3] 梅冥相, 马永生, 周丕康, 等. 碳酸盐沉积学导论[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- Mei Minxiang, Ma Yongsheng, Zhou Pikang, et al. Carbonate sedimentology introduction[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997.
- [4] 齐文同. 生物礁生态系统演化和全球环境变化历史[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002.
- Qi Wentong. Reef ecosystem evolution and global environmental change history[M]. Beijing: Peking University Press, 2002.
- [5] 朱忠德. 峡东宜昌黄花场下奥陶统生物礁的研究[J]. 地质科学, 1993, 28(1): 1–6.
- Zhu Zhongde. Study on organic reefs in the lower Ordovician in Huanghuachang of the eastern Yangtze Gorge[J]. Scientia Geologica Sinica, 1993, 28(1): 1–6.
- [6] 朱忠德, 姜衍文, 刘秉理, 等. 湖北宜昌下奥陶统分乡组藻—海绵礁[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(4): 320–32.
- Zhu Zhongde, Jiang Yanwen, Liu Bingli, et al. Algal-sponge reefs in lower Ordovician Fengxiang Formation, Yichang, Hubei[J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(4): 320–323.
- [7] 胡明毅, 朱忠德, 杨威, 等. 湖北宜昌早奥陶世生物礁储层特征及控制因素[J]. 江汉石油学院学报, 1998, 20(4): 7–11.
- Hu Mingyi, Zhu Zhongde, Yang Wei, et al. Reservoir characteristics and genesis of lower Ordovician reefs in Yichang, Hubei province[J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 1998, 20(4): 7–11.
- [8] 刘秉理, 朱忠德, 肖传桃, 等. 鄂西地区早奥陶世分乡期生物群落演化与沉积环境变迁[J]. 沉积学报, 1997, 15(14): 97–102.
- Liu Bingli, Zhu Zhongde, Xiao Chuantao, et al. The biocommunity evolution and depositional Environment transition of the lower Ordovician Fenxiang Formation in the western Hubei Area[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(14): 97–102.
- [9] 杨威, 朱忠德, 刘秉理, 等. 造礁生物群落演化在海平面变化研究中的运用—以中扬子地台下奥陶统红花园组生物礁为例[J]. 沉积学报, 2001, 19(1): 55–60.
- Yang Wei, Zhu Zhongde, Liu Binli, et al. Application of reef building organism community evolution in sea level change research—an example from reef of Honghuayuan Formation of Lower Ordovician in the Central Yangtze Platform[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(1): 55–60.
- [10] 陆廷清, 文应初, 强子同, 等. 中国南方二叠纪海绵礁的成礁模式[J]. 古生物学报, 1998, 37(4): 513–516.
- Lu Tingqing, Wen Yinchu, Qiang Zitong, et al. Reef building model of Permian sponge reefs in South China[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1998, 37(4): 513–516.
- [11] 覃建雄, 曾允孚, 陈洪德. 右江盆地二叠纪生物礁层序地层学研究[J]. 地质科学, 1999, 34(4): 506–517.
- Qin Jianxiong, Zeng Yunfu, Chen Hongde, et al. Sequence stratigraphy of Permian reefs, Youjiang Basin, southwest China[J]. Geological Sciences, 1999, 34(4): 506–517.
- [12] Tian Shugang, Fan Jiasong. Early-Middle Permian reef frameworks and reef-building models in the Eastern Kunlun Mountains[J]. Acta Geologica Sinica(English Edition), 2001, 75(2): 115–125.
- [13] 吴亚生, 范嘉松. 根据生物礁定量计算茅口期全球海平面变化幅度[J]. 中国科学(D辑), 2001, 31(3): 233–242.
- Wu Yasheng, Fan Jiasong. According reef quantitative calculation Maokouan magnitude of global sea level change[J]. Science in China(Series D: Earth Sciences), 2001, 31(3): 233–242.
- [14] 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的分布及发育的控制[J]. 沉积学报, 1996, 14(4): 84–93.
- Zhang Tingshan, Chen Xiaohui, Bian Lizen, et al. Tectonic control of the Silurian reef distribution and development on Upper Yangtze Platform[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(4): 84–93.
- [15] 张廷山, 蓝光志, Steve Kershaw. 构造及海平面波动对四川盆地志留纪生物礁的控制[J]. 石油学报, 1999, 20(3): 19–24.
- Zhang Tingshan, Lan Guangzhi, Kershaw S. Tectonic and sea-level change influence on the silurian reefs development of north and south margins of Sichuan basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(3): 19–24.
- [16] 马东洲, 陈洪德, 朱利东, 等. 川南下志留统石牛栏组沉积体系与岩相古地理[J]. 成都理工大学学报, 2006, 33(3): 228–232.
- Ma Dongzhou, Chen Hongde, Zhu Lidong, et al. Depositional system and lithofacies and paleogeography of the Silurian Formation in the southern Sichuan Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Science & Technology, 2006, 33(3): 228–232.
- [17] 万云, 张廷山, 兰光志, 等. 川东南—黔北地区志留纪生物礁与古环境演化[J]. 沉积学报, 1997, 15(增刊): 106–113.
- Wan Yun, Zhang Tingshan, Lan Guangzhi, et al. Silurian reefs and palaeoenvironment evolution in Chuandongnan-Qianbei, China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(S0): 106–113.
- [18] 陈鹤, 巩恩普, 关长庆, 等. C, O, Sr 同位素及微量元素组成在生物礁礁体环境研究中的应用[J]. 世界地质, 2008, 27(2): 130–136.
- Chen He, Gong Enpu, Guan Changqing, et al. Application of constitution of carbon, oxygen and strontium isotopes and trace elements in study of paleoenvironment of reefs[J]. Global Geology, 2008, 27(2): 130–136.

(编辑 董立)