

# 川东北地区长兴组生物礁成礁类型及分布

刘治成<sup>1</sup> 张廷山<sup>1</sup> 党录瑞<sup>2</sup> 郑超<sup>2</sup> 董银磊<sup>1</sup> 杨巍<sup>1</sup>

(1.西南石油大学资源与环境学院,四川成都 610500;2.中石油西南油气田分公司重庆气矿,重庆 400021)

**摘要:**目前在川东北地区发现了龙岗、普光、黄龙、五百梯等多个生物礁气藏,它们具有储层较厚、面积较大、储量丰度高等特点,展示出了广阔的滚动勘探开发前景。本文根据野外露头与钻井资料,结合前人研究成果,通过对生物礁的造礁生物古生态特征研究,按照生物礁所处的古地理位置、礁体的形态和礁岩的特征,归纳总结出川东北地区长兴组生物礁主要分为台地边缘礁和台内点礁,其特征差异明显。台地边缘礁主要表现为规模较大,礁组合相带完整,礁体旋回较少,水体能量强,其分布受古地理位置、古地貌环境控制,主要沿海槽两侧呈串珠状分布;台内点礁主要表现为规模较小,水体能量较弱,造礁生物个体较小,无礁前礁后沉积,礁体旋回较多,发育有凝块石,主要发育在长兴组中下部,分布规律性不强,主要受古地貌影响,沿台内局部高地随机分布。

**关键词:**四川盆地;川东北;晚二叠世;生物礁;类型;分布

**中图分类号:**P588.24 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2011)05-1298-14

多年以来,前人对川东北长兴组生物礁进行了大量的研究,取得了诸多认识和成果,一般认为以台地边缘礁和点礁为主,但对其成礁类型和成礁模式仍存在一定的争议<sup>[1-13]</sup>,这也导致各自表述的生物礁分布存在较大的差异。本文将重点对不同类型的典型生物礁做剖析,探讨本区长兴组生物礁的成礁类型及分布。

## 1 地质概况

研究区位于四川盆地东部的川东断褶构造带北部,西临川中平缓构造带,从北往南包括黄龙场、温泉井、五百梯、云安场、高峰场、石宝寨等多个潜伏构造(图 1)。地理位置涉及四川境内的万源、宣汉、达县、开江和重庆境内的梁平、开县、城口、云阳和巫溪等县(市),面积上万平方米。

从第一个沉积盖层震旦系的沉积开始,至今的川东北台地先后沉积保存了震旦系—中三叠统以碳酸盐岩为主的海相地层及上三叠统—古近系以砂泥岩为主的陆相地层,堆积的地层厚度达 8000~12000

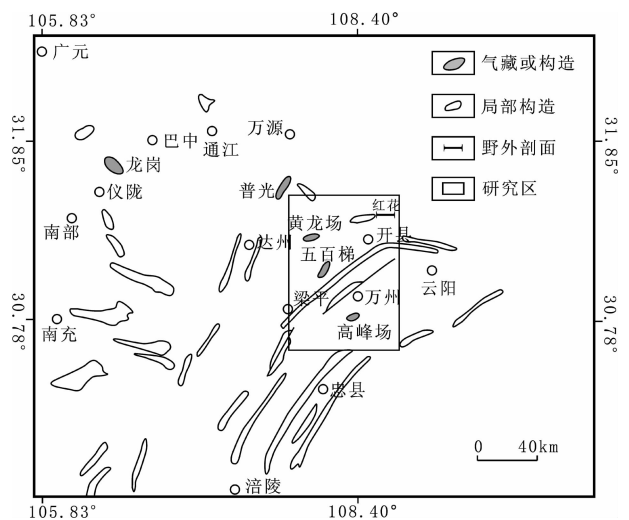


图 1 研究区位置及局部构造图

Fig.1 Location and local structural map showing the study area

m。从基底算起经历了以扬子、加里东、海西、印支、燕山及喜山运动为主的多期次区域构造(造山)运动。以燕山运动为界,川东地区构造作用可以分为性

收稿日期:2010-01-05;改回日期:2010-10-29

基金项目:“十一五”国家重大专项“中国大型气田形成条件、富集规律及目标评价”下属于专题(2008ZX05007-004-003)资助。

作者简介:刘治成,男,1983年生,博士生,从事沉积储层研究;E-mail:rexswpu@163.com。

质明显不同的两大阶段:燕山以前以升降运动为主的构造阶段和燕山及其以后以水平运动为主的构造阶段。燕山运动以前,经历了扬子、加里东、海西和印支三大构造旋回,在这 3 个旋回中,构造运动均以升降作用为主,局部隆升和下降的交替以及继承性活动是这三个时期主要的构造现象。燕山及其以后的喜山运动期间,区内遭受了来自大巴山构造带、米仓山构造带和武陵—雪峰构造带的强烈的陆内水平挤压作用,导致地层强烈褶皱和断裂。多期次区域构造(造山)运动使川东地区震旦系—中三叠统的这套海相地层的沉积相存在复杂多样性,各个时期不同区域形成的沉积物在沉积、成岩后生过程中演化成不同的储集岩类型,纵向上发育多套生储盖组合,其中形成了包括黄龙组白云岩、长兴组生物礁、飞仙关组鲕滩等储层。

早二叠世晚期的东吴运动使上扬子地区露出水面,西部上升为陆,形成西南高、东北低的古地理格局;晚二叠世海侵的发生使上扬子地区再次接受海相碳酸盐沉积,海相碳酸盐沉积一直持续至中三叠世末期。川东北地区长兴组以浅海碳酸盐台地—台地边缘相的灰色、浅灰色泥晶灰岩、生屑灰岩、泥晶灰岩、生物礁灰(云)岩等岩性为主,其地层厚度 50~350 m。

## 2 长兴组生物礁生物类型及特征

川东北地区长兴组生物礁的造礁生物主要为钙质海绵,包括:串管海绵、纤维海绵和硬海绵,其次为水螅类、钙藻类和苔藓虫,附礁生物有腕足类、双壳类、棘皮类、有孔虫等。

同时在开县红花剖面中,发现大量凝块石,与围岩相比其颜色较浅、岩性致密、无生屑、可见平底晶洞构造。“凝块石”这一概念最早由 Aitken 提出,定义为与叠层石相关的隐藻构造,但缺乏纹层而以宏观的凝块状组构为特征<sup>[4]</sup>。多年以来,许多学者对凝块石进行了深入的研究。一般认为凝块石属微生物岩的一种,微生物起了重要的造岩作用。目前在川东北长兴组生物礁中发现的凝块石均分布在礁基和礁核中,在生物礁的发育中起一定的支撑作用(图 2-C,图 2-D)。

通过统计研究区不同类型井下及露头生物礁剖面造礁生物种类发现:台内点礁中,造礁生物主要为纤维海绵,其次为硬海绵和串管海绵,少量水螅。粘结生物主要为钙藻,其次为管壳石和苔藓虫(图 2-

F)。附礁生物则以棘皮为主,其次为双壳类、腹足、腕足等,而有孔虫较少。在开县红花生物礁中,除发育大量纤维海绵外,其所育的串管海绵普遍较小,呈小型串珠状,与邻水椿木坪台内点礁相似,与宣汉羊牯洞台地边缘生物礁所发育的串管海绵对比明显变小(图 2-A,B)。在台地边缘生物礁中,造礁生物则主要为纤维海绵和串管海绵,其次为硬海绵,少量水螅。粘结生物主要为钙藻,其次为苔藓虫和管壳石(图 2-E)。附礁生物则有棘皮类、双壳类、腹足、腕足等,但有孔虫含量大幅增加,局部可成为优势种。

## 3 长兴组生物礁岩石类型及特征

研究区长兴组生物礁岩石类型可分为礁石灰岩和礁白云岩两大类,主要分布于台地边缘相带,少量分布于台地内部,整个长兴组均有发育。根据生物的主要造礁机理可将生物礁岩石分为骨架岩、障积岩和粘结岩三大类。

### 3.1 礁石灰岩

礁石灰岩是生物礁中的一类主要岩石类型,由于区内上二叠统长兴组生物礁比较发育,因此,礁石灰岩的种类也较多。区内生物礁主要发育有海绵障积岩、海绵骨架岩、海绵粘结岩。

#### 3.1.1 骨架岩

常常构成礁核主体,是发育最为成熟的一种礁相岩石。各种海绵、苔藓虫及水螅等生物原地生长后被大量钙藻包裹、粘结形成具抗浪功能的骨架,生物间充填泥晶方解石、生物碎屑及砂屑。造礁生物占主导,发育孔洞。

#### 3.1.2 障积岩

该类礁石灰岩主要产于礁核相和礁前斜坡相,主要由钙质海绵及少量苔藓虫、水螅等造礁生物构成,且造礁生物生长形态多样,其间充填大量泥晶方解石、生物碎屑。

#### 3.1.3 粘结岩

由个体较小的钙质海绵被钙藻团团包围,形成海绵团块,不均匀分布在岩层内。其间充填泥晶方解石、生物碎屑等。孔洞非常发育。

### 3.2 礁白云岩

礁白云岩在区内长兴组生物礁中有相对较多的分布,产状以中—厚层或块状为主。通常发育于礁体顶部,形成白云岩礁盖。礁体发生白云岩化程度不同。一般而言,厚度大的礁体其白云石化程度高,白

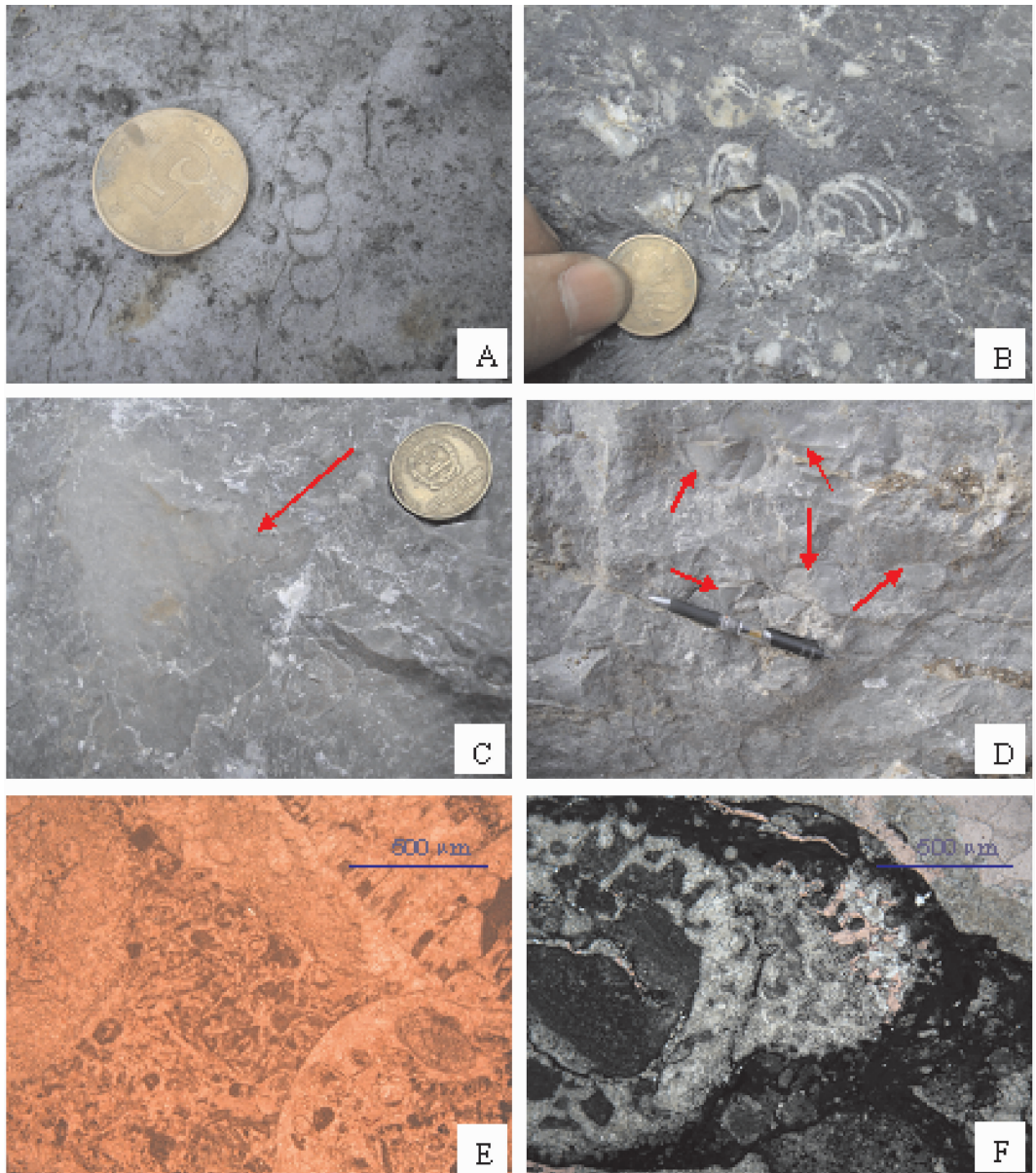


图 2 川东北地区长兴组生物礁中生物和岩性特征

A—串管海绵(开县红花剖面);B—串管海绵(宣汉羊牯洞剖面);C—凝块石,见平底晶洞构造(开县红花剖面);D—凝块石(开县红花剖面);E—海绵水螅造架礁灰岩,架间生屑和藻屑充填;F—脑纹状纤维海绵结构清晰,架间见管壳石粘结,架内为亮晶充填及少量方解石

Fig.2 Biological and lithologic characteristics of organic reefs in Changxing Formation of northeastern Sichuan

A— Sphinctozoa (Honghua, Kaixian); B—Sphinctozoa (Yanggutong, Xuanhan); C—Thrombolites and stromatactis (Honghua, Kaixian); D—Thrombolites (Honghua, Kaixian); E—Reef limestone by Sponge and Hydra filled with biodetritus and algae clastics(-); F—Inozoa, framework pores filled with Tubiphytes, sparry calcite and calcite(-)

云岩厚度大;而在礁体厚度小的地方白云石化程度也较低,在礁的发育过程中常伴有颗粒(棘屑)灰岩发育。

### 3.3 礁角砾岩

礁角砾大小不等,无分选,磨圆度差,角砾成分为礁石灰岩或泥晶灰岩,生物种类繁多,常由造礁

生物构成。礁角砾岩砾间常充填灰泥,亮晶胶结物较少。该类岩石主要发育于台地边缘礁的礁前,点礁一般不发育此种岩类。

## 4 生物礁类型及微相划分

区内长兴组生物礁可以按照 3 种不同的参数进



行分类,即生物礁所处的古地理位置、礁体的形态和礁岩的特征分为台地边缘礁和台地内部点礁两类,其特征差异明显(表 1)。

4.1 台地边缘生物礁

位于台地边缘,紧邻海槽,特别是环开江—梁平海槽成群、呈带发育,多呈串珠状密集分布,规模及隆起幅度较大,礁组合相带完整,具礁前、礁核和礁后相沉积;造礁生物丰富,其丰度及分异度均较高,礁岩类型以骨架岩和粘结—骨架岩为主,障积岩和粘结—障积岩次之。

由于边缘礁多位于环海槽的深、浅水相变过渡带,因此礁体相带前后不对称。在濒临海槽方向相带近距离突变,即薄层泥晶灰岩突变为块状礁灰岩相并且沉积厚度突然增大。由于相变使上二叠统顶底反射时差异增大、长兴组内的地震响应变异特征明显。目前发现的边缘礁气藏主要有普光、七里北、铁山、五百梯、黄龙场和云安厂等。

4.1.1 A 井长兴组台地边缘生物礁

A 井在五百梯构造南部,生物礁发育于长兴组上部,井下钻厚 52 m。按生物礁的生长演化序列和环境组合特征,可划分出礁基、礁核和礁坪等微相(图 3)。

礁基微相:为生物礁生长的基座,位于礁核之下,由生屑滩组成。岩性特征主要为灰褐色生屑泥—粉晶灰岩,生物碎屑包括棘皮类、双壳类、有孔虫、藻

类、介形虫、苔藓虫、管壳石等。

礁核微相:该微相位于礁体的中心部位,是礁体的主要组成单元,具有较强的抵抗波浪作用的能力。属潮下高能环境产物。由于该带位于浪基面之上波浪作用强,水循环很好,因此,大量底栖造礁生物—钙质海绵快速生长、堆积而形成抗浪块体。该生物礁由骨架礁微相组成,分为上下两套骨架岩构成:下部岩性为深灰色生物礁灰岩,造礁生物主要为串管海绵、纤维海绵,部分为水媳,附礁生物有海百合、腕足类、双壳类及有孔虫等,基质灰泥和细小生屑构成。上部岩性为灰色、浅灰色、褐灰色礁白云岩,白云石化强烈,具明显的花斑状构造,白云石为粉晶结构,自形—半自形晶。造礁生物以钙质海绵为主,粘结生物以钙藻为主,其次为管壳石,附礁生物为腹足类、双壳类、有孔虫、介形虫和少量生物铸型。

礁盖微相:该生物礁礁盖是由于低潮时生物礁部分或全部出露海面,造成生物礁死亡而后成岩,此时水深不过 1~2 m,沉积物主要来自前方被波浪打碎的礁屑,位于礁体的顶部。礁盖微相在礁的演化阶段上处于礁的演化后期,由于常常暴露,白云石化常见。该井岩性为浅灰色粉晶白云岩,化石稀少,可代表暴露的礁顶潮坪沉积环境。

该生物礁以生屑滩为基底,此时水体能量强,整体上处于水体较浅的高能环境。随着海平面逐渐上升,环境的改变适合了钙质海绵、水媳等底栖生物的

表 1 川东北地区长兴组台地边缘生物礁与台内点礁特征对比

Table 1 Comparison of the features between organic reefs on carbonate platform margin and point reefs in the platform for Changxing Formation of northeastern Sichuan area

特征	台内点礁	台地边缘生物礁
分布环境	沿台地内局部地貌高地生长的礁体分布,规律不强	分布明显受到台地边缘相带的控制,多沿台地边缘成群、带状或串珠状分布
能量条件	较强	强-较强
礁组合沉积	不发育礁前、礁后沉积	礁组合相带完整
代表性岩石类型	凝块石、浅色生物灰岩、礁灰岩、礁白云岩等	礁灰岩、礁白云岩、礁角砾岩、生物灰岩
主要生物	纤维海绵、硬海绵、串管海绵、苔藓虫、钙藻、棘皮类、双壳类、腕足等	串管海绵、纤维海绵、硬海绵。水媳、钙藻、棘皮类、有孔虫、腹足等
规模	较小,面积一般小于 5 km <sup>2</sup>	较大,面积一般大于 10 km <sup>2</sup>
旋回性	较多,一般 2~5 个	较少,一般 1~3 个
实例	红花、石宝寨、板东生物礁	龙岗、天东、黄龙生物礁

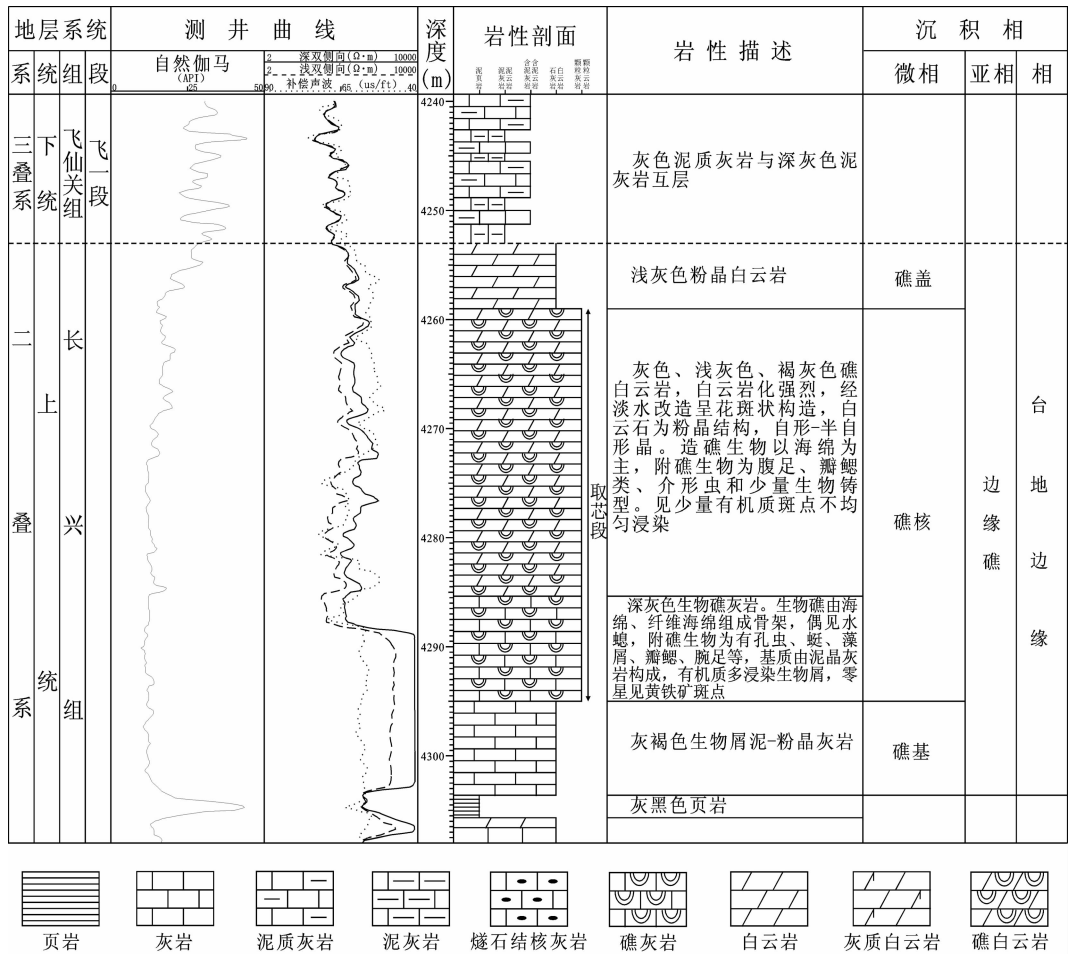


图3 A井长兴组边缘礁剖面结构

Fig.3 Section structure of organic reefs on Changxing Formation carbonate platform margin in A well

生存,并快速繁殖,并形成一定的抗浪骨架。由于地貌的阻挡,海水带来了养料,各类生物也明显增加,生物礁持续生长。随着海平面的再次下降,最终生物礁露出水面停止生长。

4.1.2 B井长兴组台地边缘生物礁

B井位于五百梯构造南部,A井以南。该生物礁发育在长兴组上部,钻厚44m,按生物礁的生长演化序列和环境组合特征,可划分出礁基、礁核和礁坪等微相(图4)。

该生物礁与A井生物礁相似。随着海平面下降,此时水体变浅,光照变强,棘皮类、腕足类、双壳类生物等大量富集,由于水动力较强,形成生屑滩沉积,形成良好的硬质基底。当海平面逐渐上升时,光照、水体以及地貌等环境的改变,有利于串管海绵、纤维海绵、水螅等造礁生物的生长繁殖,并形成具较强抗浪作用的礁骨架,附礁生物的分异度也明显增

加。随海平面又一次下降,海水更加动荡,造礁生物不能适应新的环境,棘皮类、有孔虫等生物开始占据优势地位,该地区处于此时水体较浅的高能环境,而海平面持续下降直至礁体暴露在海面,生物礁停止生长。

4.1.3 C井长兴组台地边缘生物礁

C井位于黄龙场构造,在五百梯构造北面,该井生物礁发育在长兴组中部,钻厚66m,按生物礁的生长演化序列和环境组合特征,可划分出两个演化旋回以及礁基、礁核和礁坪等微相(图5)。

该生物礁经历了两期礁体的旋回演化过程,第一旋回以生屑滩为基底,由于海平面下降,水体变浅,以棘皮类为主,包括有孔虫、介形虫等大量生物富集,少量钙质海绵作为开拓者开始成礁,形成稳定的基底,随着海平面持续下降,在硬质基底上,串管海绵、纤维海绵、水螅等造礁生物开始快速生长繁

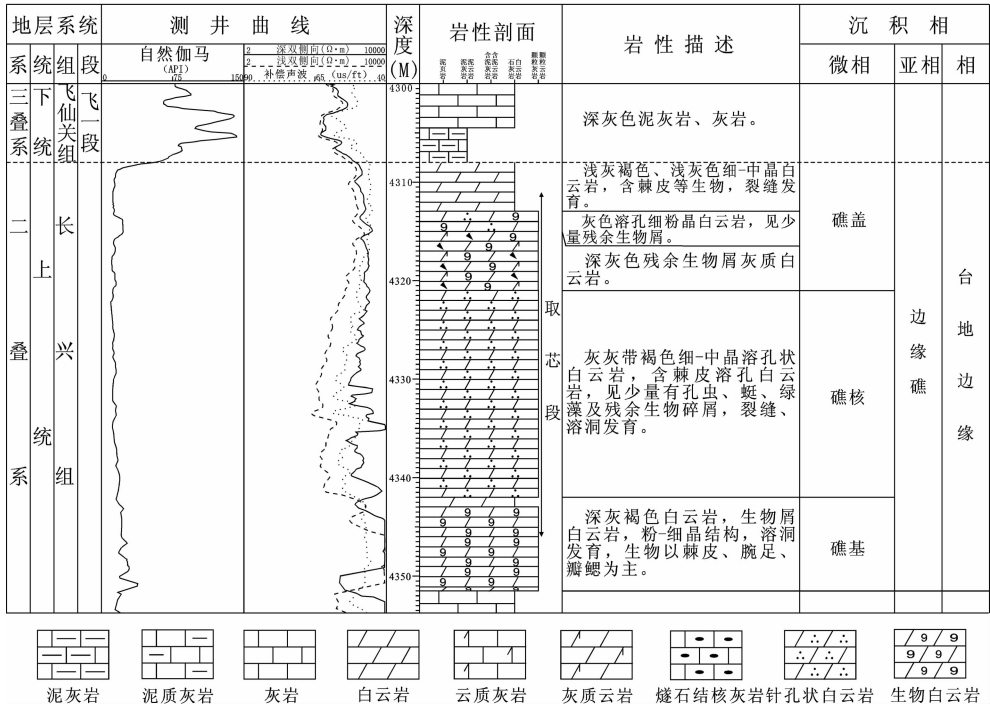


图 4 B 井长兴组边缘礁相剖面结构

Fig.4 Section structure of organic reefs on Changxing Formation carbonate platform margin in B well

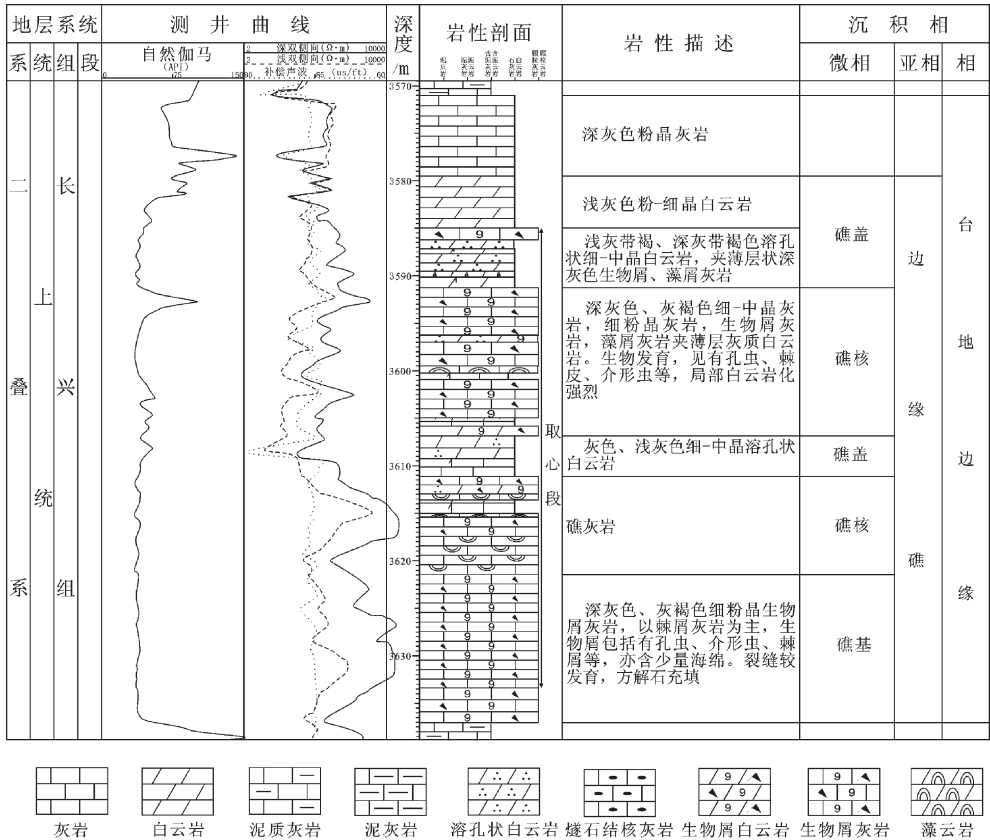


图 5 C 井长兴组边缘礁相剖面结构

Fig.5 Section structure of organic reefs on Changxing Formation carbonate platform margin in C well

殖,形成具有较强抗浪功能的骨架,生物礁开始快速生长,直到暴露在海面,造礁生物死亡,第一旋回停止生长;海平面上升后,第二旋回以第一旋回所形成的礁体为基底,在适宜的光照和水动力条件下,钙藻开始大量繁殖,包裹或粘结生物成为优势物种,占据了栖息空间,并包裹钙质海绵具一定抗浪能力。在礁核夹有薄层灰质白云岩,推测是由于海平面变化频繁,短时间内生物礁暴露海面暂停发育,但该生物礁

总体上仍继续生长。直到一次较大规模的海平面下降,礁体暴露于海面停止生长。

### 4.2 台内点礁

通常位于碳酸盐缓坡或者碳酸盐台地内沿断裂带或局部高地随机分散分布,一般隆起幅度不高,规模不大,厚度较小。其最大特征是礁组合相带不完整,相带对称,无礁前礁后相沉积,因而地震相位较连续,时差变化不大,地震识别较难。礁核部位造礁

地层系统		层号	分层厚/m	累厚/m	岩性柱状图	岩性描述	微相	发育期次	
界	系								
中生界	三叠系	下统	大冶组	19	11.5	187.2	灰、灰白色中厚层微晶白云岩,发育石膏假晶及石膏脉		
				18	15.7	172.6	灰白色厚-块状粗晶灰质云岩;	生屑滩	
				17	22.5	156.9	浅灰色块状灰质云岩		
				16	10.9	134.4	灰、深灰色中厚层生屑灰岩,以假礁孔藻为主;可见棘屑等	礁盖	第四旋回
				15	22.7	123.5	下部为深灰色块状泥晶生屑灰岩,上部为深灰色中厚层云质灰岩	灰泥丘	
				14	3.1	100.8	深灰色中层泥晶生屑灰岩,生屑包括有孔虫等	礁盖	第三旋回
				13	22.1	97.7	灰白色块状海绵礁灰岩。藻类、海绵类及其它生物化石丰富,顶部可见海百合、珊瑚等生物富集。	礁核	
				12	5.1	75.6	灰白色块状海绵礁灰岩,骨架孔发育,发育凝块石	礁基	
				11	3.2	70.5	灰白色中厚层棘屑云质灰岩		
				10	8.1	67.3	浅灰色块状泥晶生屑灰岩,生屑以棘屑为主,可见少量中管海绵、蜓,有孔虫等。	礁核	第二旋回
				9	13.1	59.2	灰色块状藻粘岩,凝块石发育	礁核	
				8	9.8	46.1	灰白色块状泥晶生屑灰岩,凝块石发育,可见平底晶洞构造。	礁基	第一旋回
				7	3.4	36.3	浅灰色块状亮晶棘屑灰岩	礁盖	
				6	11.7	32.9	浅灰色厚层块状棘屑泥晶灰岩,泥晶云质灰岩,泥晶棘屑灰岩。局部白云化。		
5	2.8	21.2	灰白色厚层棘屑泥晶灰岩	礁盖					
4	2.2	18.4	灰白色块状灰质云岩,可见假余棘屑		礁基				
3	3.4	16.1	灰白色块状细晶白云岩	礁基					
2	5.9	12.7	浅灰-灰白色块状泥晶生屑灰岩,凝块石发育		礁基				
1	6.8	6.8	灰白-灰色块状泥晶生屑灰岩,凝块石发育	礁基					
吴家坪组							深灰-黑色中厚层含生屑泥晶灰岩与燧石条带互层		

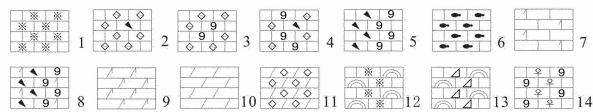


图6 开县红花生物礁剖面综合柱状图

- 1—凝块岩;2—含生屑泥晶灰岩;3—生屑泥晶灰岩;4—泥晶生屑灰岩;5—生屑灰岩;6—燧石条带灰岩;7—云质灰岩;8—生屑云质灰岩;9—灰质云岩;10—微晶白云岩;11—细晶白云岩;12—藻粘岩;13—藻屑灰岩;14—礁骨架岩

Fig.6 Comprehensive histogram of the section for Honghua organic reefs in Kaixian County  
 1-Thrombolites; 2-Bioclastic-bearing limestone; 3-Wackstone; 4-Packstone; 5-Bioclastic limestone;  
 6-Chery banded limestone; 7-Dolomitic limestone; 8-Bioclastic dolomitic limestone; 9-Limy dolomite;  
 10-Dolomite; 11-Crystalline dolomite;12-Algal boundstone;13-Algal limestone;14-Reff framework



生物不很丰富,且个体小,造礁能力弱,泥晶方解石灰泥丰富。在礁基发育有凝块石。成礁层位呈间歇性或旋回性出现。目前发现的点礁气藏主要有双龙、张家场、板东、高峰场和石宝寨等。

#### 4.2.1 开县红花长兴组台内点礁

##### 4.2.1.1 开县长兴组红花生物礁发育特征

红花生物礁剖面位于开县大进镇红花村,该生物礁发育于长兴组中下部。通过对红花生物礁剖面的野外丈量和观测研究,发现其经历了 4 期礁体的旋回演化过程,礁内岩性和生物演化具有规律性(图 6)。

第一旋回岩层厚 36.3 m,由凝块丘和礁盖构成,内部构造较简单。其中凝块丘厚 12.7 m,为浅灰-灰白色块状泥晶生屑灰岩,含大量凝块石,并发育有平底晶洞构造;礁盖厚 23.6 m,主要为浅灰、灰色泥-粉晶厚层-块状棘屑灰岩及云质灰岩,原岩可能为棘屑灰岩。

第二旋回岩层厚 22.9 m。礁体向上依次发育礁基、礁核。其中礁基 9.8 m,为灰白色块状生屑灰岩,凝块石极为发育,且其中发育平底晶洞构造;礁核厚 13.1 m,灰色块状藻粘结岩,发育有凝块石。

第三旋回岩层厚 41.6 m,为较为完整的礁发育体系,向上由礁基、礁核和礁盖构成,内部构造较为简单。其中礁基厚 11.3 m,为浅灰色中-厚层状泥晶棘屑灰岩,块状棘屑灰岩;礁核厚 27.2 m,为灰白色块状海绵礁灰岩,生屑可见海绵、藻类,底部凝块石发育。礁盖厚 3.1 m,为深灰色中层泥晶生屑灰岩,生屑可见珊瑚、棘屑等。

第四旋回岩层厚 33.6 m,向上由灰泥丘及礁盖构成。灰泥丘厚 22.7 m,为深灰色块状泥晶生屑灰岩,中厚层云质灰岩;礁盖厚 10.9 m,为灰、深灰色中厚层泥晶藻屑灰岩,生屑主要为假如孔藻,其次为棘屑。

总体上四期红花生物礁体在空间上连续,生物特征和岩性具一定规律性,从中发现单个礁体的完整演化顺序为:礁基→礁核→礁盖。岩性演化为:棘屑灰岩→生屑灰岩(含凝块石)→棘屑灰岩。从发育的四期礁体中野外观测和总结得出,第三期旋回较为完整,其他几期发育不完全。且前三期礁体在礁基及礁核部凝块石较为发育。

##### 4.2.1.2 开县长兴组红花生物礁的微相特征

红花生物礁分布在剖面上的 1 至 16 层,按造礁生物的生态特征,可划分出骨架礁;按生物礁的生长

演化序列和环境组合特征,可划分出礁基、礁核和礁盖等诸微相(图 6)。其中礁基主要由生物碎屑滩组成,是生物礁的生长基座;礁核是形成生物礁抗浪块体的主体部分,主要由骨架礁组成。

礁基微相:相当于剖面中的 1、2、8、10 和 11 层,为生物礁生长的基座,主要由生屑滩组成。岩性特征主要为灰白色、浅灰色生物屑灰岩、棘屑灰岩,生物碎屑包括棘皮类、双壳类、有孔虫、藻类、介形虫、骨针、钙球、苔藓虫、管壳石等。

礁核微相:相当于剖面中的 9、12 和 13 层,岩性为灰白色块状海绵骨架礁灰岩,造礁生物主要为海绵,部分为苔藓虫和水螅,大多数具垂直或斜交层面的生长生态特征,附礁生物有海百合、腕足类、双壳类及有孔虫等。

礁盖微相:相当于剖面中的 3~7 层、14 层和 16 层,礁盖是指低潮时部分或全部出露的由死亡的生物礁岩组成的宽旷平地,岩性主要为灰白色、浅灰色厚层粉晶白云岩、灰质云岩,沉积物主要来自前方被波浪打碎的礁屑,但可含有丰富的原地固着生长的造礁生物,以及各种生物碎屑。

##### 4.2.1.3 凝块石的古生态

目前研究认为凝块石一般形成于潮下带环境<sup>[15-19]</sup>; Brunton 和 Dixon 研究了地史上与硅质海绵共生的凝块石后认为,在寒武纪—奥陶纪形成凝块石的蓝细菌及其他微生物都是光合自养生物,生活于浅水中;而自奥陶纪之后,大部分上述微生物转入深水中,变成异养生物<sup>[17]</sup>;吴熙纯研究川西北晚三叠世卡尼期硅质海绵礁时,认为其中的生屑凝块石泥粒岩表明海侵加速,缓坡下沉,处于中缓坡外缘及外缓坡内缘,水深达 30 m 以上<sup>[18]</sup>;张廷山在陕西宁强早志留世深缓坡微晶灰泥丘中发现 3 种微生物化石,经能谱分析,所有微生物化石均由碳酸钙组成,他们在灰泥丘的形成过程中起了重要的造岩作用,其沉积属深缓坡上部<sup>[19]</sup>。

在现代发育的凝块石研究中,Feldmann 和 Mckenzie 在巴哈马 Lee Stoeking 岛发现其发育的现代凝块石的沉积水深通常大于叠层石,凝块石形成于潮汐海道的潮下带中<sup>[20]</sup>。Planavsky 和 Ginsburg 研究现代巴哈马海滩的微生物岩及其埋藏时,发现凝块石大量分布于 EXUMA 群岛附近的潮下带<sup>[21]</sup>。

综上所述,凝块石主要发育在水体较深,水动力相对较弱的环境中。



4.2.1.4 红花生物礁成礁模式

长兴期开始的大规模海平面下降,使得开县红花地区演变为开阔台地内部,随着水体逐渐变浅,各类生物开始富集,在台地内部的局部隆起上发育生屑滩相。同时长兴期海平面升降频繁,由于海平面上升,较深的水体以及较弱的水动力条件使得凝块石大量发育,而光照条件的好转也利于棘皮类、双壳类等附礁生物的大量繁殖。但由于水体深度以及基质的原因,钙质海绵相对不发育且个体小,呈串珠状,不能形成有效的抗浪骨架。随着海平面持续降低,水动力条件加强,礁体被波浪破碎形成生屑滩并周期性暴露于海面,第一旋回停止生长(图7-a)。随着海平面上升,水体变深,在第一旋回形成的厚层滩体上,凝块石再次发育,大量捕捉细菌的生物也开始富集,形成较稳定的基地,由于水体深度和底质的原因,钙质海绵、水螅等骨架生物仍个体较小,但适合钙藻类快速繁殖,同时养料的充足也利于生物富集,经过钙藻的包裹或粘结,具一定抗浪作用。由于生物不断富集,生物礁持续生长。由于钙质海绵等造礁生物大多数具垂直或斜交层面的生长生态特征,表明水动力并不很强,随着海平面持续下降,水动力加

强,使得造礁生物死亡,第二旋回停止生长(图7-b),生物礁被波浪破碎形成生屑滩。第三旋回以生屑滩为基础,随着海平面上升,波浪对滩的破坏作用减小,水体变深使得凝块石第三次发育,环境的变化也为钙藻的发育创造了有利条件,并具有一定障壁作用。随后海平面缓慢下降,钙质海绵、水螅等底栖生物开始快速繁殖,虽然个体仍然较小,但由于钙藻包裹或粘结,形成了具有一定抗浪作用的骨架。骨架生物主要为直立或斜交生长,表明水动力并不太强。由于礁盖为深灰色中层泥晶生屑灰岩,推测此时海平面快速上升,造礁生物死亡,第三旋回也停止生长(图7-c)。但在此环境中其他生物仍大量繁殖,在隆起地貌上捕捉灰泥,形成由灰泥作为支架起支撑作用的灰泥丘。此时由于海平面下降,绿藻含量大大增加,由于灰泥丘生物群中绿藻一般较少<sup>[14]</sup>,推测灰泥丘停止生长(图7-d)。随着海平面持续下降,水动力持续增强,生态环境不再适应生物礁的发育。至此,红花生物礁停止生长。

4.2.2 D井长兴组台内点礁

D井位于高峰场构造,生物礁发育在长兴组中上部,钻厚75 m,按生物礁的生长演化序列和环境

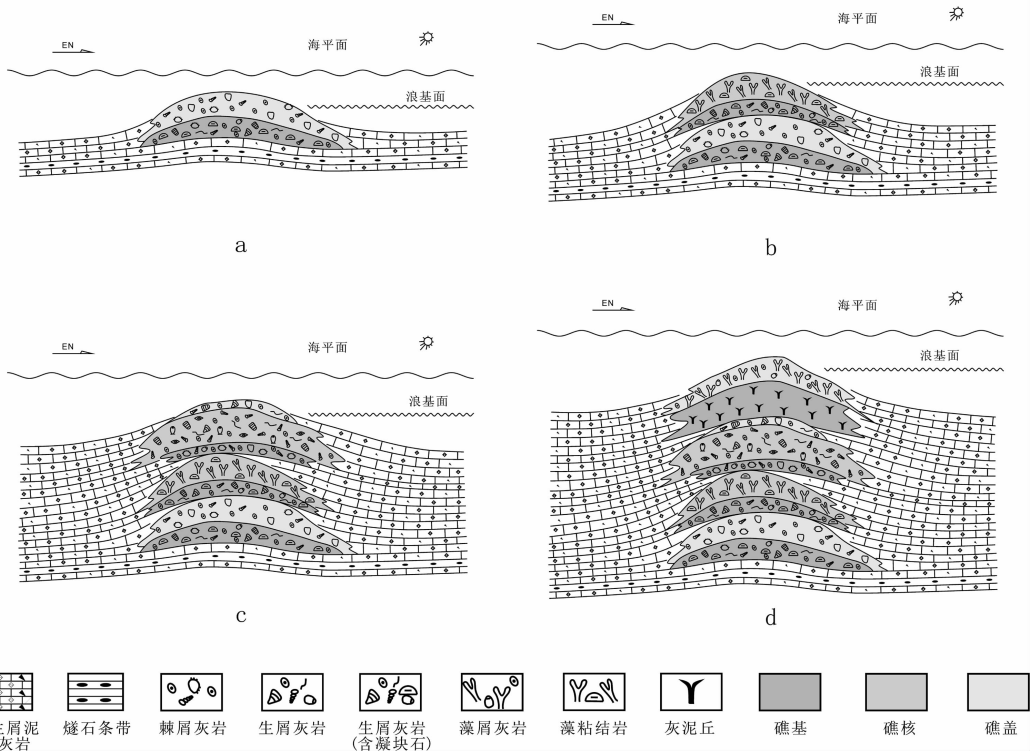


图7 开县红花生物礁成礁模式图

Fig.7 Reef-forming model for Honghua organic reefs in Kaixian County

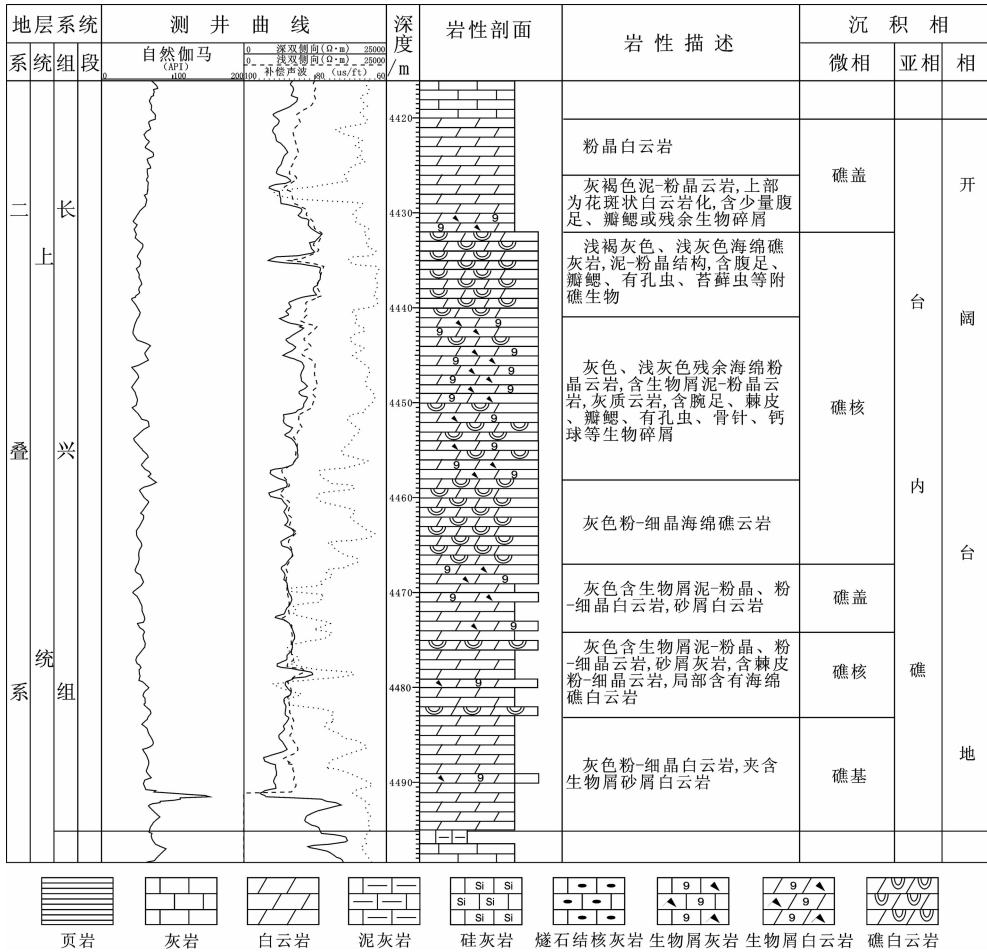


图 8 D 井长兴组台内点礁相剖面结构

Fig.8 Section structure of organic reefs on Changxing Formation carbonate platform margin in D well

组合特征,可划分出两个礁体演化旋回以及礁基、礁核和礁盖微相(图 8)。

D 井生物礁共发育两期礁体旋回。第一旋回礁基岩性为粉-细晶白云岩夹生屑砂屑白云岩,表明水动力强。下覆地层岩性为泥灰岩,表明这时期海平面快速下降,形成了生屑滩沉积,具有一定抗浪能力。当海平面开始上升后,水动力减弱,对生屑滩的影响降低,适宜的环境使得纤维海绵、硬海绵等造礁生物快速繁殖,并形成抗浪骨架。这时海平面变化频繁,当海平面降低时,棘皮类等附礁生物占据主导,但礁体一直保持生长。直至海平面快速下降,水动力增强,造礁生物死亡,第一旋回停止生长。随海平面再次上升,水体变深,第二旋回直接以第一旋回所形成的地貌隆起作为硬质基底、纤维海绵、水螅等造礁生物再次大量繁殖,快速生长,形成抗浪骨架。礁盖为浅色粉晶白云岩,推测此时海平面快速下降,导致

造礁生物的生存环境遭到破坏,礁体暴露在海面,生物礁停止生长。

### 5 生物礁分布

川东北地区长兴组生物礁在平面上的分布特点主要为以下两点:①台地边缘相带是生物礁发育的最有利相带。其分布有的可达很高密度,如在勘探程度较高的环开江—梁平海槽的北东侧台地边缘相带中,黄龙场构造至五百梯构造共发现有近 20 个边缘礁的存在。②点礁多分布于碳酸盐台地内部相带,且这些点礁的分布往往受台地内部局部高地的控制,具有较大的随机性。

纵向上,具有一定规模和大小的台地边缘生物礁主要发育在长兴中、晚期,多沿当时的开江—梁平海槽和城口—鄂西海槽两侧的台地边缘分布,开江—梁平海槽北东侧台地边缘生物礁主要沿普光—

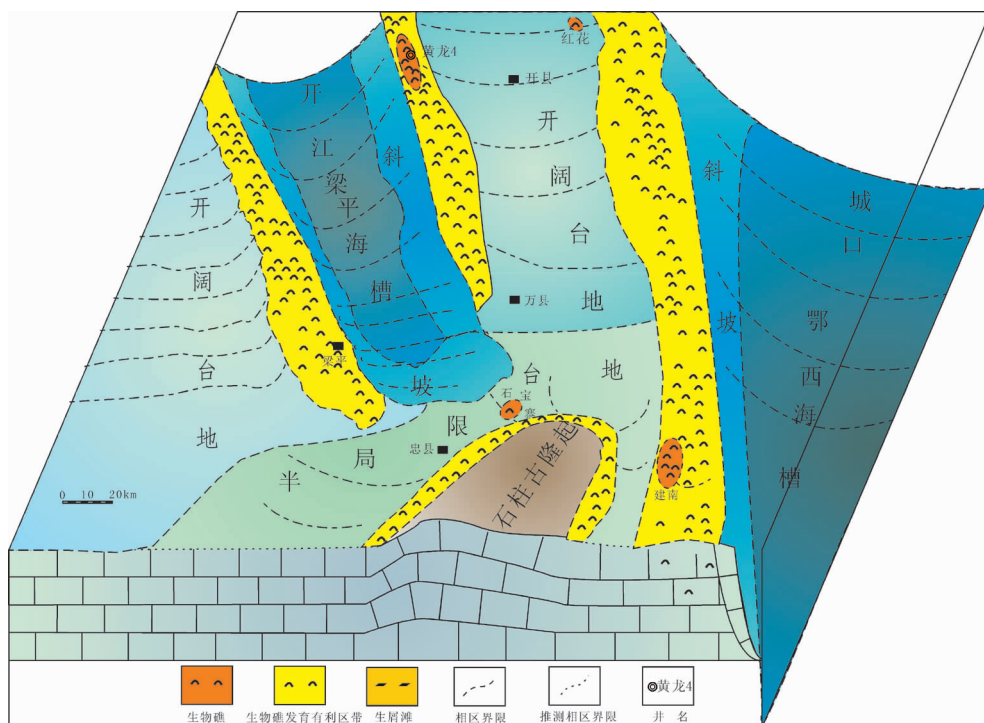


图9 川东北地区长兴早—中期沉积相演化模式

Fig.9 Sedimentary facies evolution model for  $P_{2ch}SQ1$  of Changxing Formation in eastern Sichuan

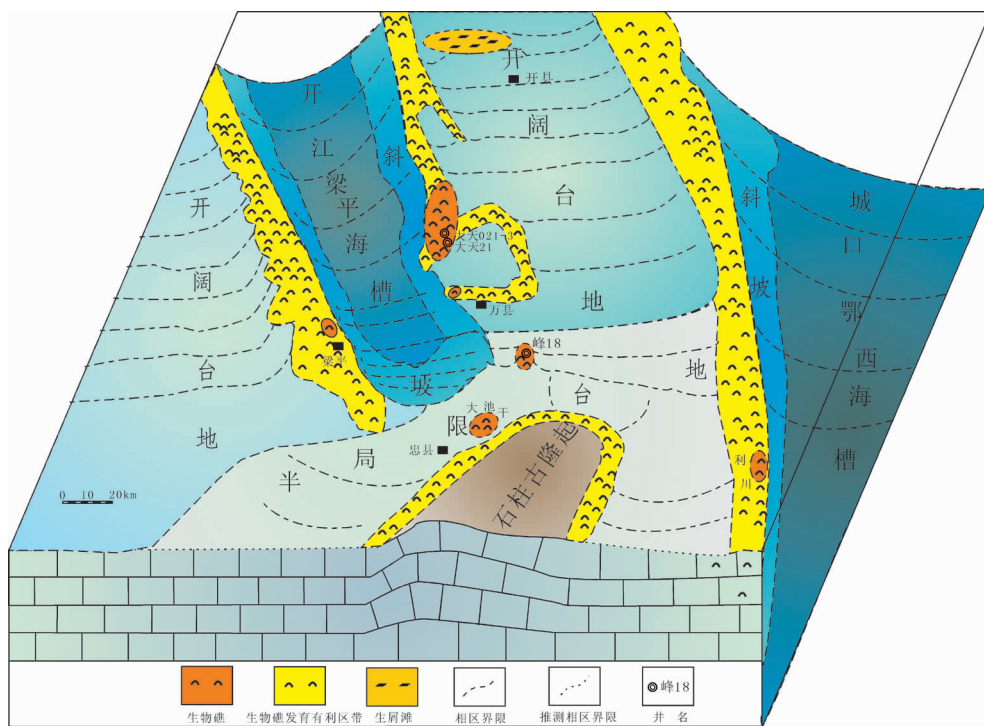


图10 川东北地区长兴中—晚期沉积相演化模式

Fig.10 Sedimentary facies evolution model for  $P_{2ch}SQ2$  of Changxing Formation in eastern Sichuan area



黄龙—天东—万州一带分布,城口—鄂西海槽西南侧台地边缘生物礁主要沿宣汉盘龙洞—开县满月—利川—建南一线分布;而较小型的台内点礁则主要发育于长兴早、中期,在研究区多呈零星分布,如宝 1、池 24、峰 18、云安 12 等井以及开县红花生物礁,礁体规模一般都小(图 9~10)。

## 6 长兴组沉积相演化

晚二叠世长兴期,四川盆地东北部地区整体呈现台—盆(海槽)相间的古地理格局,主体受 NNW—SSE 向展布的开江—梁平台内海槽和城口—鄂西海槽控制,形成了西南→东北由台地—台内海槽—台地—台缘海槽的展布格局,并发育了开阔台地、台内浅滩、台地边缘生物礁滩组合带,台内礁滩组合带,台缘斜坡、开江—梁平台内海槽和城口—鄂西台缘海槽等沉积相带。沿北北西—南南东方向展布的开江—梁平台内海槽两侧主要以台地边缘斜坡为主,而沿着海槽展布方向在台地边缘带发育一系列台地边缘礁、滩组合带,其中在毛坝 3 井、普光 6 井、黄龙 5—黄龙 4—黄龙 8—黄龙 10 井、五百梯构造的大天 2—天东 11—天东 021—4 井区等呈带状分布于台内海槽周缘,其中尤以开江—梁平台内海槽东缘生物礁更发育;该相带以东至城口—鄂西台缘海槽之间有宽广的开阔台地相带,开阔台地内散布着大量台内点礁和浅滩,如在云安 12 井区、峰 003—X3 井区、峰 18 井区、峰 003—2 井区、渡 1 井区、罗家 2 井区、罗家 9 井区和金珠 1 井区均有分布;研究区东北角毗邻城口—鄂西台间海槽的台地边缘礁、滩相,生物礁、滩主要分布于鸡唱、盘龙洞、河口、渡口和满月等地,沿台间海槽伸展方向呈线状或点状展布,其东侧为台地边缘斜坡相带,向海槽逐渐过渡。

本文根据川东北地区各长兴组生物礁在剖面上发育的不同层位,结合其沉积环境特征,将研究区长兴期划分为早—中期和中—晚期,分别编制了其沉积相模式图,并讨论了各个时期的沉积相展布特征和演化规律(图 9~10)。

### 6.1 长兴早—中期沉积相演化特征

研究区从长兴早期开始,海平面下降速率大于台地边缘沉降速率,导致相对海平面相对上升,研究区受研究区北部的广旺海槽和东北方向的城口—鄂西台间海槽影响较小,沉积环境相对局限单调,开江—梁平海槽局限于研究区西南缘,如此局限的沉

积环境导致各种(造礁)生物不能大量生长和繁盛,因而各种生物建隆不能广泛发育,但在黄龙场构造、石宝寨构造等局部地貌高地,由于环境相对开阔,水体浅、能量高,较容易受到西北方向洋流的影响,因此可发育生物礁。总体上,受古地形和局限环境的控制,研究区自西南向东北方向依次发育开江—梁平台内海槽、台地边缘斜坡、台地边缘滩和开阔台地相带(图 9)。

### 6.2 长兴中—晚期沉积相演化特征

开江—梁平海槽东侧地区,在长兴中期整体具有开阔台地沉积模式,海水由西北往东南向侵袭,发育台内海槽、开阔台地台缘斜坡、台地边缘礁滩组合、开阔台地等沉积相(图 10)。海平面上升速度较慢,但持续的幅度很大,可容纳空间的增长速率略大于沉积物生产率 and 堆积速率。该时期是生物礁主要发育期,在台地边缘带,水体条件适于各种造礁生物和附礁生物的大量生长繁殖,普遍发生生物礁建隆作用,而海平面的上升与生物礁的建隆也具有相互补偿的机制,发育海侵并进型生物礁。一旦生物礁建隆的增长速率超过海平面的上升速率,生物礁将短暂暴露,发生潮坪白云岩化,所以一般生物礁发育于长兴中、晚期。

## 7 结论

川东北长兴组生物礁类型主要分为台地边缘生物礁和台内点礁。台地边缘生物礁成群、呈带发育,多呈串珠状密集分布,其隆起幅度大,礁组合相带完整,具礁前、礁核和礁后相沉积;造礁生物丰富,其丰度及分异度均较高,礁岩类型以骨架岩和粘结骨架岩为主,障积岩和粘结—障积岩次之。台内点礁一般隆起幅度不高,规模不大,厚度较小。其最大特征是礁组合相带不完整,相带对称,无礁前礁后相之分。礁核部位造礁生物不很丰富,且个体小,造礁能力弱,发育有凝块石,成礁层位呈间歇性或旋回性出现。

通过对川东北地区长兴组的不同类型生物礁造礁生物的对比,台内点礁主要以纤维海绵为主要造礁生物,串管海绵相对较少;台地边缘礁则以串管海绵及纤维海绵为主要造礁生物。

川东北长兴组生物礁纵向上主要发育在长兴组中上部,平面上主要分布于开江梁平海槽东侧,沿海槽伸展方向呈线状或点状展布。

在川东北地区长兴组的生物礁中,不乏凝块石

的存在。经过大量对比,凝块石均发育在台内点礁中,可作为川东北地区台内点礁鉴别的依据之一。其在生物礁发育中所起的作用值得探讨。

### 参考文献 (References):

- [1] 范嘉松, 吴亚生. 川东二叠纪生物礁的再认识 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1):12-18.  
Fan Jiasong, Wu Yasheng. Restudies on Permian reefs in eastern Sichuan, China [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23 (1):12-18 (in Chinese with English abstract).
- [2] 范嘉松, 张维. 鄂西二叠系生物礁的基本特征及其发育规律[J]. 地质科学, 1982, 3:274-283.  
Fan Jiasong, Zhang Wei. The upper Permian reefs in Lichuan District, West Hubei[J]. Scientia Geologica Sinica, 1982, 3:274-283 (in Chinese with English abstract).
- [3] 范嘉松, 吴亚生. 世界二叠纪生物礁的基本特征及其古地理分布 [J]. 古地理学报, 2005, 7(3):287-304.  
Fan Jiasong, Wu Yasheng. Main features of the Permian reefs of world and their palaeogeographic distribution [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7 (3):287-304 (in Chinese with English abstract).
- [4] 杨万容, 李迅. 中国南方二叠纪礁类型及成礁的控制因素 [J]. 古生物学报, 1995, 34(1):67-77  
Yang Wanrong, Li Xun. Permian reef types and controlling factors of reef formation in south China [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1995, 34(1):67-77(in Chinese with English abstract).
- [5] 王生海, 强子同. 四川华蓥山涧水沟上二叠统生物礁 [J]. 石油与天然气地质, 1992, 13(2): 147-156.  
Wang Shenghai, Qiang Zitong. Upper Permian Jianshuigou reef in Huaying mountains, Sichuan [J]. Oil & Gas Geology, 1992, 13(2): 147-156(in Chinese with English abstract).
- [6] 曾伟, 徐建斌, 黄继祥, 等. 川东北地区长期生物礁结构分类及分布[J]. 沉积学报, 1998, 16(3):132-136.  
Zen Wei, Xu Jianbin, Huang Jixiang, et al. Structure classification and distribution of reefs of Changxing Group in Northeast Sichuan [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16 (3):132-136 (in Chinese with English abstract).
- [7] 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, 11:10-15.  
Wang Yigang, Wen Yingchu, Zhang Fan, et al. Distribution law of the organic reefs in Changxing Formation of Upper Permian in east Sichuan[J]. Gas Industries, 1998, 11:10-15(in Chinese with English abstract).
- [8] 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, 24(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, 24 (3):65-71 (in Chinese with English abstract).
- [9] 强子同, 郭一华, 张帆, 等. 四川上二叠统老龙洞生物礁及其成岩作用[J]. 石油与天然气地质, 1985, 6(1):82-90.  
Qiang Zitong, Guo Yihua, Zhang Fan, et al. The upper Permian reef and its diagenesis in Sichuan basin[J]. Oil & Gas Geology, 1985, 6(1):82-90(in Chinese with English abstract).
- [10] 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 the Huanglongchang structure, eastern Sichuan [J]. Geology in China, 2006, 33(2):427-435 (in Chinese with English abstract).
- [11] 倪新锋, 陈洪德, 韦东晓. 礁滩复合型气藏物质聚集分布及储层特征研究——以川东北地区普光气田长兴组—飞仙关组为例 [J]. 中国地质, 2007, 34(6):1045-1054.  
Ni Xinfeng, Chen Hongde, Wei Dongxiao. Distribution and accumulation of materials in shoal-reef compound gas deposits and reservoir characteristics——A case study of the Changxing-Feixian Formation in the Puguang gas field, northeastern Sichuan [J]. Geology in China, 2007, 34 (6):1045-1054 (in Chinese with English abstract).
- [12] 蒋志斌, 王兴志, 张帆, 等. 四川盆地北部长兴组—飞仙关组礁、滩分布及其控制因素[J]. 中国地质, 2008, 35(5):940-950.  
Jiang Zhibin, Wang Xingzhi, Zhang Fan, et al. Distribution and controlling factors of reefs and oolitic beaches for the Changxing to Feixianguan formations in the northern Sichuan basin [J]. Geology in China, 2008, 35 (5):940-950 (in Chinese with English abstract).
- [13] 张廷山, 姜照勇, 陈晓慧. 四川盆地古生代生物礁滩特征及发育控制因素[J]. 中国地质, 2008, 35(5):1017-1030.  
Zhang Tingshan, Jiang Zhaoyong, Chen Xiaohui. Characteristics and controlling factors of development of Paleozoic reef-banks in the Sichuan basin [J]. Geology in China, 2008, 35(5):1017-1030 (in Chinese with English abstract).
- [14] Aitken J D. Classification and environmental significance of cryptalgal limestones and dolomites, with illustration from Cambrian and Ordovician of southwestern Alberta [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1967, 37:1163-1178.
- [15] Pratt B R. Stromatolitic framework of carbonate mud mounds[J]. Journal Sedimentary Geology. 1982, 52:1203-1227.
- [16] Osleger D A, Read J F. Relation of eustasy to stacking patterns of meter-scale carbonate eyes, Lare Cambrian, U.S.A. [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1991, 61(7):1225-1252.
- [17] Brunton F R, Dixon O A. Siliceous sponge-microbe biotic associations and their recurrence through the Phanerozoic as reef mound constructors[J]. Palaios, 1994, 9:370-387.
- [18] 吴熙纯. 川西北晚三叠世卡尼期硅质海绵礁-鲕滩组合的沉积相分析[J]. 古地理学报, 2009, 11(2):125-142.  
Wu Xichun. Sedimentary facies analysis of the Late Triassic

- Carnian siliceous sponge reef-oolite bank complex in northwestern Sichuan Province [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2009, 11 (2): 125-142(in Chinese with English abstract).
- [19] 张廷山, 边立曾, 俞剑华. 陕西北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.
- [20] Mark Feldmann, Judith A McKenzie. Stromatolite -thrombolite associations in a modern environment, Lee Stocking Island, Bahamas[J]. *Palaios*, 1998, 13:201-212.
- [21] Noah Planavsky, Robert N Ginsburg. Taphonomy of Modern Marine Bahamian Microbialites[J]. *Palaios*, 2009, 24:5-17.

## Reef-forming types and distribution of organic reefs in Changxing Formation of northeastern Sichuan area

LIU Zhi-cheng<sup>1</sup>, ZHANG Ting-shan<sup>1</sup>, DANG Lu-rui<sup>2</sup>,  
ZHENG Chao<sup>2</sup>, DONG Yin-lei<sup>1</sup>, YANG Wei<sup>1</sup>

(1. *Institute of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China*; 2. *Chongqing Gas District of Southwest Oil and Gas Co., Ltd., CNPC, Chongqing 400021, China*)

**Abstract:** Organic reefs gas reservoirs such as Longgang, Puguang, Huanglong and Wubaiti were found in northeastern Sichuan area. They are characterized by thick reservoirs, larger areas and abundant reserves, thus suggesting wide exploration and development prospects. In northeastern Sichuan, reefs are mainly divided into platform marginal reef and point reef in platform, with obvious different characteristics. The platform marginal reef is characterized by large scale, intact facies belt of reef combination, strong water energy, control by paleogeographic location and paleogeomorphic environment, and cluster distribution mainly on both sides of the oceanic trough. In contrast, the point reef in platform is characterized by small scale, weak water energy, smaller reef-forming organism individual, no deposition of reef front or reef back, more cycles of the reef body, development of thrombolite, insignificant distribution regularity, control by paleogeomorphology, and random distribution along local highland in the platform.

**Key words:** Sichuan Basin; northeastern area; late Triassic; reefs; type; distribution

---

**About the first author:** LIU Zhi -cheng, male, born in 1983, doctor candidate, engages in sedimentary and reservoir research; E-mail: rex\_swpu2005@126.com.