

川东地区长兴组台地边缘生物礁类型及其演化特征

周 刚¹ 郑荣才² 陈浩如² 史建南² 文华国²

(1. 中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院, 四川 成都 610041; 2. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要: 开江—梁平海槽的形成、发展和消亡过程对川东地区长兴组生物礁分布有着明显的控制作用, 因而决定了生物礁气藏的类型、规模及其分布。通过露头、岩心观察和薄片鉴定手段, 对台地边缘生物礁内部结构、发育特征的详细研究, 表明台地边缘生物礁在海槽周缘的不同部位差别较大, 按照生物礁发育规模, 可将其分为台缘点礁、台缘丘礁和台缘堤礁, 系统总结了这 3 种生物礁的生长演化阶段。其中台缘点礁主要发育于研究区环开江—梁平海槽的南端, 发育于长一或长二到长三期, 主要由障积礁组成, 礁体发育时间短、发育规模最小, 礁体发育最为简单, 主要经历了 3 个演化阶段; 台缘丘礁发育于研究区环开江—梁平海槽的中端—北端, 发育于长二—长三期, 大部分生物礁延续到了长三末期, 礁体发育时间相对较长、发育规模相对较大, 主要经历了 5 个演化阶段; 台缘堤礁主要发育于鄂西海槽台地边缘或开江—梁平海槽最北端的川东北地区, 礁体发育于长一时期或长二初期, 一直延续到长三末期, 礁体发育时间最长, 规模最大, 礁体最为复杂, 经历了 5 个演化阶段。

关键词: 川东; 长兴组; 生物礁; 生物礁类型; 台地边缘生物礁

中图分类号: P534.46 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)04-1140-10

众多研究成果表明, 赋存在长兴组礁、滩相地层中的油气藏具有环“开江—梁平台内海槽”分布的特点^[1-2], 四川盆地历年来的勘探成果以及近年来不断发现新气藏的勘探经验, 更进一步深化了环海槽台地边缘带是寻找生物礁气藏的最有利相带这一重要认识^[3], 并且环海槽周缘生物岩隆具有延伸远、勘探潜力大的基本态势^[4], 可供勘探面积达 7 300 km²。目前, 围绕海槽边缘已发现的 13 个台地边缘生物礁气藏, 其中已探明的 8 个台地边缘礁气藏(铁山、普光、七里北、黄龙场、五白梯、云安场、元坝、龙岗)具有储层厚、面积较大、储量较高等储层规模较大的特点, 尤其是普光、龙岗、元坝等礁气田为典型代表。然而, 并非所有台缘礁气藏都具有如此好的储层特征, 如另 5 个台地边缘生物礁气藏(石宝寨、大池干、七里

峡、南门场、高峰场)却具储层厚度更薄、面积更小、储量更低等储层规模相对较小的特点, 可见, 环开江—梁平海槽分布的台地边缘生物礁气藏储层规模在不同位置可能有较大差异。前人主要对环开江—梁平海槽某一个或几个台地边缘生物礁进行研究^[5-7], 而对整个台地边缘生物礁进行较为系统研究比较少。因此, 为更好了解川东地区台地边缘生物礁沉积与储层特征, 以寻找优质礁滩相储层为核心, 有必要对整个台地边缘生物礁内部结构、演化规律、沉积类型、控制因素及时空展布等进行更深入的研究。在前人研究的基础上, 文章以川东地区长兴组 4 个台地边缘生物礁露头剖面 and 环开江—梁平海槽地下 24 口台地边缘生物礁钻井为基础, 详细解剖生物礁内部结构, 研究表明环开江—梁平海槽分布的台缘生

收稿日期: 2012-09-16; 改回日期: 2012-11-01

基金项目: 国家自然科学基金项目“川东北地区优质储层白云石化流体来源”(41172120)中国石油西南油气田分公司重庆气矿科研项目(20090302-02-02)资助。

作者简介: 周刚, 男, 1984 年生, 博士, 工程师, 主要从事沉积学与储层地质学研究; E-mail: zhougang29@petrochina.com.cn。

物礁在不同位置有规律的发育不同结构类型的生物礁,总结不同类型台缘生物礁的发育及演化特征,进一步探讨研究区台缘生物礁气藏有利的勘探方向,指出对台缘生物礁的勘探在开江—梁平海槽周缘不同位置应有不同的勘探思路,为下一步勘探川东长兴组生物礁油气藏提供地质信息。

1 地质概况

二叠系地层我们采用三分法,即上、中、下二叠统,其中下统为梁山组;中统包括栖霞组和茅口组;上统有龙潭组和长兴组,与之对应的分别有吴家坪组和大隆组,其中吴家坪组与龙潭组、大隆组与长兴组属同时异相层位。本次研究目标层为上二叠统长兴组,研究区位于开江—梁平台内海槽地区,区域构造属于川东弧形褶皱带,包括五百梯、大猫坪、高峰场、黄龙场、石宝寨、大池干等构造带,均呈北东-南

西向展布,面积万余平方千米(图 1)。晚二叠世川东地区发育以石灰岩和燧石灰岩为主的开阔台地到局限台地以及硅质岩为主的海槽相^[8],广泛发育长兴组礁、滩相油、气藏的“开江—梁平台内海槽”形成于晚二叠世长兴组早期,充填和消亡于早三叠世飞仙关组晚期,其成因与峨眉“地裂运动”和南秦岭勉略—紫阳洋盆三叉裂谷系的南支向南东方向扬子板块延伸的裂陷作用可能有关^[1],具有“坳拉槽”性质,控制了上二叠统长兴组礁、滩相地层的分布。

2 台地边缘生物礁发育特征

本区生物礁主要为海绵礁,其主要造架生物为海绵,另有少量的苔藓虫、珊瑚和层孔虫,主要粘结生物为蓝绿藻、古石孔藻和管壳石等。川东长兴组台地边缘生物礁又可划分为毗邻鄂西海槽发育的台地边缘礁和环开江—梁平台内海槽发育的台地边缘

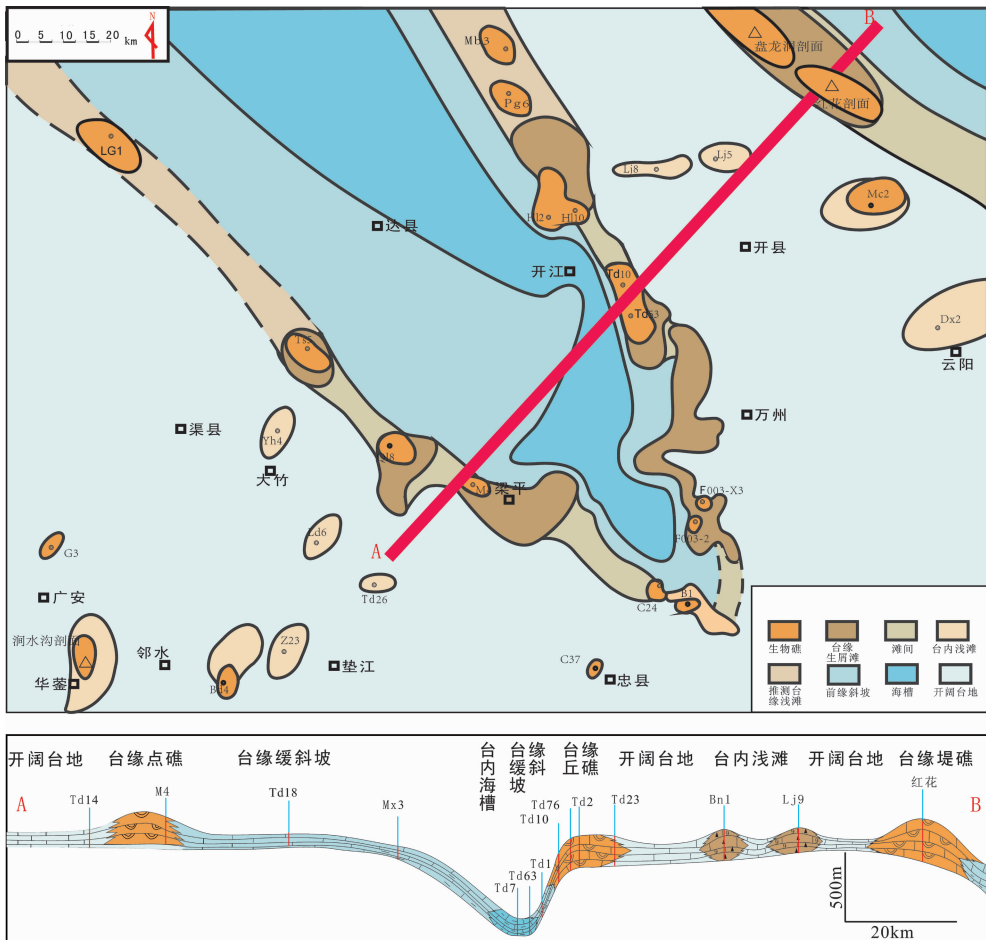


图 1 研究区概况

Fig.1 Overview of the study area

礁,其中毗邻鄂西海槽发育的台地边缘礁以见天坝礁为代表,发育最早,生长于长一期,消亡于长三末期,位于毗邻鄂西海槽的台地最边部;盘龙洞礁发育稍晚,生长于长一中期,消亡于长三中期,位于台地边缘内侧;红花礁发育较晚,生长于长一中晚期,消亡于长三中后期,也位于毗邻鄂西海槽的台地边缘内侧。环开江—梁平台内海槽发育的台地边缘礁以大池干、石宝寨礁为代表,发育较早,生长于长一期,被海水淹死消亡于长二时期;南门场、七里峡生物礁发育于长二早中期,消亡于长二末期,高峰场生物礁发育于长二中晚期,消亡于长三早中期;黄龙场、铁山、五百梯、普光、LG 礁发育于长二早中期,黄龙场、铁山生物礁消亡于长二末期,五百梯、普光、LG

生物礁消亡于长三中晚期(表1)。

2.1 生物礁组成

(1)造礁生物:①海绵类:川东长兴期最重要的造礁生物,包括房室海绵(*thalamids*,=串管海绵*Sphinctozoa*)、纤维海绵(*Inozoa*)和硬海绵(*Sclerospongiae*)等3类,其中以房室海绵占绝对优势,房室海绵按生态环境大体可分为3类^[9]:囊状海绵类一般位于礁体的中下部(图2-A),代表礁体的初始发育阶段,形成于低能弱动荡水环境;串珠状海绵类发育于礁体的中部位(图2-B),代表能量相对较低的弱动荡,但水体循环仍良好的温暖浅海环境;柱状海绵类位于礁体中上部或上部(图2-C),代表水能相对较高且循环良好的温暖浅海环境。②苔藓虫:含量很少,

表1 川东长兴组台地边缘生物礁发育层位
Table 1 Developing strata of platform-edge reefs in Permian Changxing Formation of eastern Sichuan Basin

| 生物礁类 型 | 构造 | 礁名 | 发育层位 | | |
|-----------|-----------|-------|---------------------|---------------------|----------|
| | | | P_3^1c | P_3^2c | P_3^3c |
| 堤礁 | 利川 | 见天坝 | ←————— 256 —————→ | | |
| | 宣汉 | 盘龙洞 | 14.3 | ←————— 186.3 —————→ | 104.4 |
| 开县 | 红花 | 36.3 | ←————— 129.1 —————→ | 63.2 | |
| | 普光 | 普光6井 | | ←————— 56 —————→ | 28 |
| LG | LG 82井 | >143 | ←————— 138 —————→ | | |
| | 铁山 | 铁山4井 | | ←————— 160 —————→ | |
| 铁山5井 | | 186 | ←————— 86 —————→ | 59 | |
| 黄龙场 | 黄龙1井 | 46 | ←————— 36 —————→ | 88 | |
| | 黄龙4井 | 119 | ←————— 32 —————→ | 135 | |
| | 黄龙5井 | 198.5 | ←————— 26.5 —————→ | 92.5 | |
| | 黄龙8井 | 62 | ←————— 47 —————→ | 91 | |
| | 黄龙10井 | 84 | ←————— 65 —————→ | 121 | |
| 天东 | 天东2井 | 84 | ←————— 82 —————→ | 31 | |
| | 天东002-11井 | 110 | ←————— 82 —————→ | 18 | |
| | 天东10井 | 55 | ←————— 104 —————→ | 53 | |
| | 天东11井 | 135 | ←————— 42 —————→ | 17.5 | |
| | 天东21井 | 179 | ←————— 39 —————→ | 5 | |
| | 天东021-3井 | 183 | ←————— 42 —————→ | | |
| | 天东53井 | 92 | ←————— 69 —————→ | 6 | |
| | 天东61井 | 192 | ←————— 19 —————→ | 4.5 | |
| 七里峡 | 七里8井 | 147 | ←————— 23 —————→ | 117 | |
| | 南门场 | 门4井 | 84 | ←————— 18 —————→ | 48 |
| 高峰场 | 峰003-X3井 | 185.5 | ←————— 86.5 —————→ | 27 | |
| | 峰18井 | 211 | ←————— 69 —————→ | 71 | |
| 大池干 | 池24井 | 4 | ←————— 44.5 —————→ | 133.5 | |
| 石宝寨 | 宝1井 | | ←————— 95 —————→ | 89.5 | |
| | 宝4井 | 30 | ←————— 66 —————→ | 74 | |

注:表中数字表示为钻厚或暴露厚度(m),标示箭头层段为礁体
 P_3^1c —长兴组一段; P_3^2c —长兴组二段; P_3^3c —长兴组三段

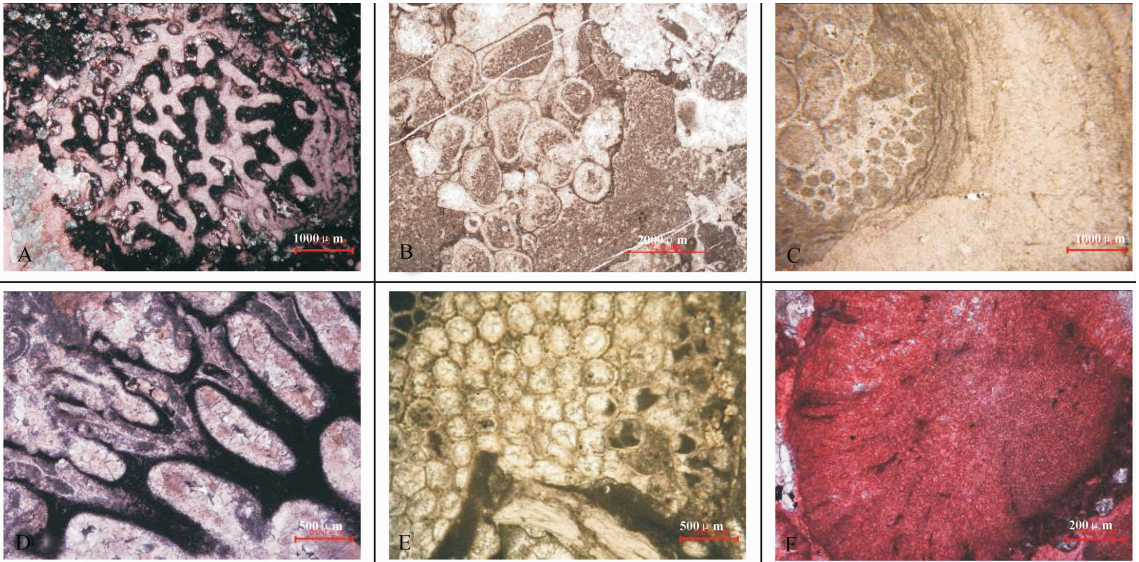


图 2 研究区造礁生物

A—脑纹(囊状)海绵,(-),3850.49 m, P₃ch, 天东 002-11 井; B—串珠状海绵,(-),9 层,75 m, P₃ch, 红花剖面; C—柱状海绵,(-),15 层,136 m, P₃ch, 盘龙洞剖面; D—横板珊瑚,(-),3759.61 m, P₃ch, 天东 10 井; E—苔藓虫,(-),2660.5 m, P₃ch, 池 24 井; F. 红藻,(-),6183.10 m, P₃ch, LG1-1 井

Fig.2 Reef-building organism in Permian Changxing Formation around Kaijiang-Liangping trough

A. Cystic sponge, (-), 3850.49m, P₃ch, Tiandong 002-11 well; B—Beaded sponge, (-), 9 layers, 75m, P₃ch, Honghua section; C—Columnar sponge, (-), 15 layers, 136m, P₃ch, Panlongdong section; D—Tabulata, (-), 3759.61m, P₃ch, Tiandong10 well; E—Bryozoan, (-), 2660.5m, P₃ch, Chi24 well; F—Red alga, (-), 6183.10m, P₃ch, LG1-1 well

呈皮壳状或层片状形态, 具有连续的层层叠覆粘结和障积灰泥与碎屑的造礁作用(图 2-D)。^③珊瑚: 含量很少(图 2-E), 与海绵共同作用造礁。^④藻类: 以蓝绿藻居多, 主要有古石孔藻(*Archaeolithoporella* sp.)、管壳石(*Tubiphytes* sp.)及黎形藻(*Permocalculus* sp.)等, 偶见红藻(图 2-F), 分布于海绵、水螅及苔藓虫等造礁生物周围, 包绕造礁生物生长, 对造礁起重要的粘结和固定作用。

(2)附礁生物: 门类众多, 有腕足、瓣鳃、海百合、腹足、介形虫、有孔虫及筴类等。

(3)充填物: 造礁生物间多由砂屑、生物碎片、灰泥充填, 部分为亮晶充填, 充填物的含量主要依据造礁生物含量而定, 两者多呈反消长关系。

2.2 生物礁相

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、礁坪、礁前和礁后等诸亚相, 其中礁基主要由生物碎屑滩微相组成, 礁核主要由骨架礁、粘结骨架礁、障积礁、粘结礁微相组成, 礁坪主要由礁坪滩微相组成, 礁前主要由塌积微相组成, 礁后可进一步可细分出潟湖、潮坪和生屑滩微相等。

2.2.1 礁基和礁坪/顶亚相

礁基岩性以深灰色、灰褐色富含海绵个体的微-亮晶生屑灰岩、藻屑灰岩(或白云岩)为主; 礁坪亚相沉积物主要来自前方被波浪打碎的礁屑, 但也可含原地固着生长的造礁生物及各种生物碎屑。礁坪亚相和礁基亚相在一定条件下可互相转换, 如礁坪亚相各滩体中出现大量原地固着生长的造礁生物, 意味着老礁体沉没和新礁体的开始, 因此, 此时的礁坪亚相已转化为礁基亚相; 礁坪亚相在一定条件下可转换为礁顶亚相, 如礁坪亚相发生强烈的准同生白云石化, 意味着礁体长时间暴露和干化死亡, 此时的礁坪亚相则转化为有强烈萨勃哈作用的礁顶(或礁盖)亚相。

2.2.2 礁核亚相

粘结礁微相: 由粘结岩组成, 包括微晶海绵礁灰岩、微晶藻粘结海绵礁灰岩等岩性, 造礁生物主要为囊状海绵、蓝绿藻等, 含量 30%~40%, 附礁生物 10%~20%, 充填物 40%~60%, 以灰泥为主, 反映较弱水动力条件的沉积环境, 岩石原生孔隙较少, 若未白云石化, 为不利储层发育的微相, 主要发育于长兴组的中

下部和顶部。

障积礁微相:由障积岩组成,造礁生物含量较少,以呈串珠状海绵和囊状海绵为主,少量柱状海绵,20%~30%,捕集的灰泥含量高达50%,反映水动力较弱的较低能沉积环境,几乎每条剖面上都有发育,是川东长兴组生物礁主要组成部分。

骨架礁微相:由骨架岩组成,岩性为亮晶海绵骨架礁灰/白云岩,由原地生长堆积的块状或柱状海绵等组成抗浪的骨架,海底胶结作用、粘结作用或造礁生物互相缠绕丛生是主要固结方式,造礁生物占50%或更多,充填物以生屑、砂屑充填为主,灰泥充填物极少而多世代胶结作用形成的栉壳结构非常发育。反映形成于水动力条件很强的沉积环境,水循环性好,抗浪性强,往往保存有较多的生物体腔孔和骨架孔,以至孔隙结构很好、储集空间非常发育,属于最有利储层发育的微相。

粘结骨架礁微相:由粘结骨架岩组成,岩性为皮壳状钙藻-海绵礁灰/白云岩,造礁生物以串珠状海绵、蓝绿藻、红藻、苔藓虫、横板珊瑚等组成,含量30%~40%,附礁生物10%~20%,充填物40%~60%,孔洞较发育,其间充填方解石晶体。反映中等—较强水动力条件的沉积环境,往往保存有较多生物体腔孔和骨架孔,属于有利储层发育的微相。

2.2.3 礁前亚相

礁前亚相由被波浪破碎的生物礁岩造成的各种角砾堆积而成,大小不等,一般无分选,棱角状,部分角砾外有古石孔藻包壳发育,角砾间主要为灰泥充填,局部白云岩化。

2.2.4 礁后亚相

礁后亚相指受到台地边缘生物障蔽保护的低能环境,由潮坪、潟湖和生屑滩微相组成,岩性为泥晶灰岩、含生物屑藻屑灰岩,残余生物屑粉—细晶白云岩,有时含泥质。

2.3 台地边缘生物礁类型

研究区长长期总体处于海水持续上升时期,生物礁是在海侵背景下形成的,次一级海平面升降旋回,造成生物礁在纵向上出现多个旋回叠加,也造成了长兴组三分的特征,在自然伽马曲线上生物礁相对于非礁相地层,表现为明显的低值(图3-A, B)。按照生物礁发育位置及规模,将川东台地边缘礁划分为台缘点礁(图3-A)、台缘丘礁(图3-B)和台缘堤礁(图3-C)三种类型,台缘点礁具有规模

小、形态简单、结构不完整、造礁生物少、变浅再变深相序、分布于环开江—梁平海槽水动力条件最弱的海槽南端等特点,生物礁长1~2 km,宽几百米~1 km,厚30~50 m;台缘堤礁具有规模大、形态复杂、结构完整、造礁生物多、变浅相序、分布于水动力条件最强的鄂西海槽边缘或环开江—梁平海槽的最北端等特点,其延伸长度可达2~5 km,宽1~2 km,厚100 m以上;台缘丘礁介于两者之间。

2.3.1 台缘点礁

礁体近似圆形或呈不规则状,是在环海槽边缘海底较小隆起上形成的孤立小礁体,环开江—梁平海槽南端的石宝寨、大池干、七里峡、南门场、高峰场等生物礁具这类特征。该类型的礁体主要由障积岩组成,规模不大,呈点状分布,礁核由于灰泥含量高不易白云石化,但与礁体伴生的滩相,尤其是砂屑滩易于白云石化,可形成规模较小的礁滩相储层。总体来说该类礁体具如下特征:①生物礁长1~2 km,宽几百米~1 km,厚30~50 m;②多呈斑点状成群产出;③发育层位主要为长一时期(大池干、石宝寨)或长二时期(南门场、七里峡),部分生物礁发育层位可从长二—长三早中期(高峰场生物礁);④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;⑤造礁生物含量少,20%左右,以灰泥或生屑填隙物为主;⑥岩石类型几乎全为障积岩,骨架岩及粘结岩不发育;⑦此类生物礁一般消亡于海平面的快速上升而被淹死;⑧岩石中孔洞少,不具暴露特征。

2.3.2 台缘丘礁

礁体近似丘状,是在环海槽边缘海底水动力条件较强的相对较大隆起上形成的线状或孤立礁体,环开江—梁平海槽的中端—北端的铁山、普光、七里北、黄龙场、五白梯、云安场、LG等生物礁具有这类礁体的典型特征。该类型的礁体规模相对较大,呈点状或线状分布,礁体主要由障积岩组成,其次为骨架岩、粘结骨架岩等,岩石若白云石化可形成很好的储层,另与礁体伴生的滩相也易于白云石化,它们组合可形成规模较大的礁滩相储层。总体来说台缘丘礁具如下特征:①生物礁长1~3 km,宽1~2 km,厚30~100 m;②沿台地边缘线状或点状分布;③发育层位为长二(铁山、黄龙场)和长二到长三(五百梯、普光、LG);④造礁生物以树枝状、丛状群体的串珠状海绵、囊状海绵为主,部分柱状海绵,在礁体中多数垂

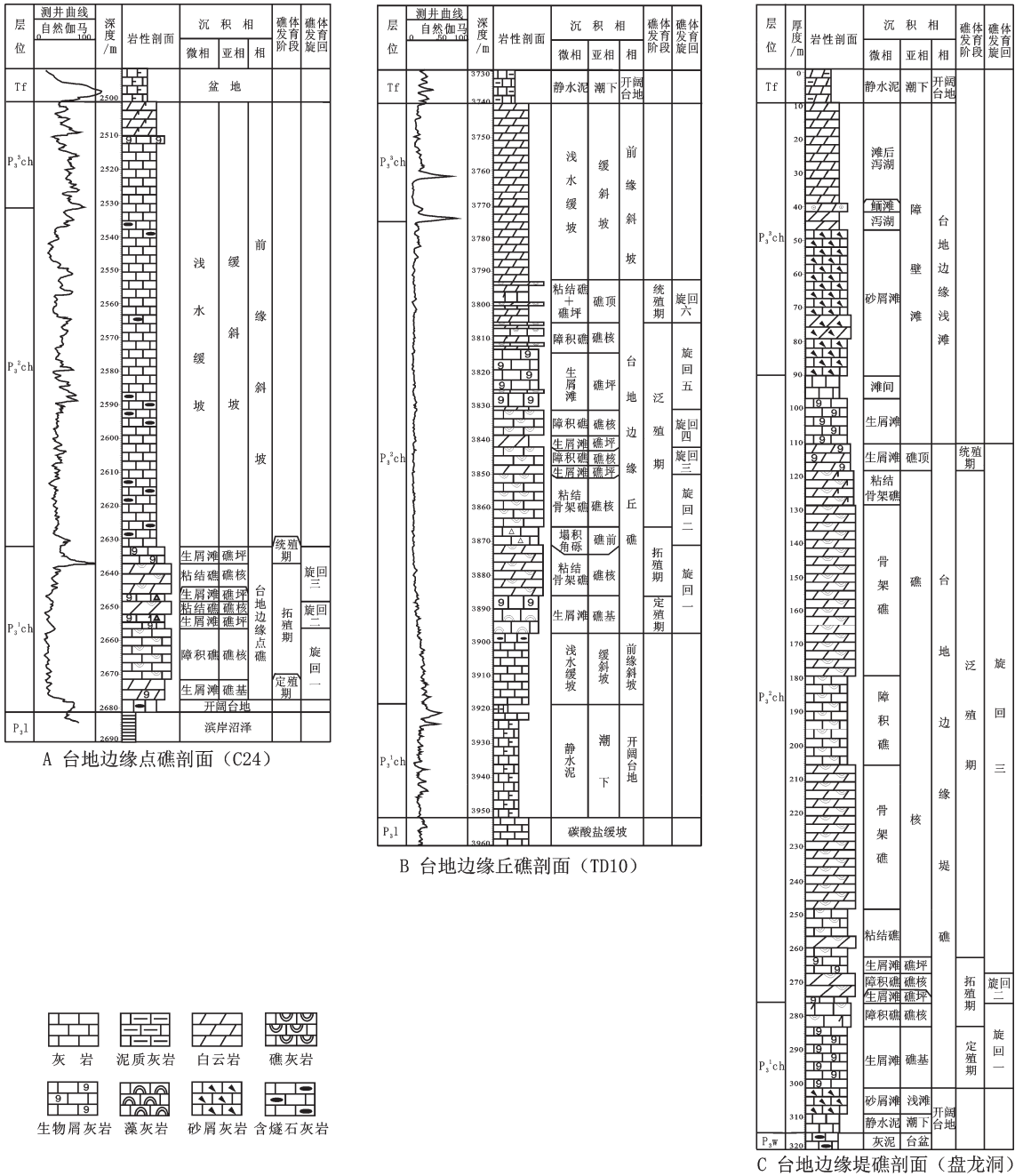


图 3 川东地区长兴组台地边缘不同类型生物礁柱状图

Fig.3 Column of different platform-edge reefs in Permian Changxing Formation of eastern Sichuan Basin

直向上生长;⑤造礁生物含量 30%~50%,泥晶和亮晶胶结都有发育,填隙物包括灰泥、生屑、砂屑等;⑥岩石类型以障积岩为主,含少量骨架岩和粘结岩;⑦此类生物礁一般消亡于海平面下降-快速上升的阶段;⑧岩石中孔洞较为丰富,多数被方解石晶体所充填,少数被沥青充填。

2.3.3 台缘堤礁

礁体是在环海槽边缘海底水动力条件强的相对较大隆起上形成的规模较大连续性较好的礁体,具如下特征:①呈线状分布;②生物礁发育持续时间长,发育层位一般从长兴组一段一直延续到长兴组三段;③岩石类型包括障积岩、粘结骨架岩、骨架岩,

粘结骨架岩、骨架岩较为发育;④造礁生物包括串珠状海绵、柱状海绵、囊状海绵,含量 30%~60%,局部达 80%,具有固定生长方向,多数垂直层面向上生长,部分被藻缠结成抗浪格架;⑤岩中孔洞较为丰富,多数被方解石晶体所充填,少数被沥青充填;⑥藻类丰富,无论骨架岩还是粘结岩,造礁生物多被藻纹层包围、粘结;⑦礁前缘发育有塌积成因的碎屑状和角砾状灰岩。位于鄂西海槽的盘龙洞生物礁、红花生物礁、见天坝生物礁为台缘堤礁的典型代表,开江—梁平海槽最北端的川东北地区由于长兴期地处相对较高部位,且位于开江—梁平海槽与广元—旺苍海槽交汇处,水动力强,能从海槽带来丰富的营养物质,具备形成大型生物礁的良好条件,认为在环开江—梁平海槽最北端的川东北地下可能发育有大型长兴组生物礁—台缘堤礁。

3 台地边缘生物礁形成演化规律

研究区台地边缘生物礁主要经历了定殖期、成礁期和统殖期 3 个大的演化阶段,其中台缘点礁规模小、形态简单、结构不完整,一般只能识别出定殖期、成礁期—拓殖期和统殖期 3 个演化阶段(图 4-A),而台缘丘礁和堤礁具有规模相对较大、形态复杂、结构完整等特点,可识别出定殖期、成礁期—拓殖期、成礁期—泛殖期、统殖早—中期和统殖中—晚期 5 个演化阶段(图 4-B、C)。

3.1 定殖期

隆起的地貌导致水体变浅,温暖、透光、养分充足等条件促进了长兴期生物生长,一些棘皮类、腕足类、腹足类、有孔虫类等生物在此隆起地带生长发育,主要以棘屑和腹足动物为主,它们消亡后原地堆积,并被藻粘结固定形成稳定的基座,形成了生物礁发育的基底。研究区台缘丘礁和大部分台缘点礁的定殖期基本都发育于长二期(除了开江—梁平海槽最南端的石宝寨和池 24 井生物礁发育于长一期),台缘堤礁一般发育于长一期。

3.2 成礁期

成礁期又可分为拓殖期和泛殖期,不同类型的台缘生物礁,经历的成礁期不同。台缘点礁由于礁体较薄、旋回较多,主要发育拓殖期,而泛殖期不发育,一个台缘点礁由多个小的礁体组成,礁体发育层段厚 18~95 m,但礁核厚度只有 1~26 m,平均厚 8 m,单个礁体礁核厚度更薄,一般 1~3 m。与其伴生在一

起的还有微晶生屑灰岩、生屑微晶灰岩等,形成于长一或长二时期。台缘丘礁和台缘堤礁由于礁体发育完整、结构复杂,拓殖期、泛殖期都有发育。

3.2.1 成礁—拓殖期

拓殖期造礁生物尚未出现明显数量上的优势,以囊状海绵、串珠状海绵、蓝绿藻等为主要造礁生物,呈以分枝状、丛状生长,附礁生物以腹足、棘皮为主,海绵对灰泥、生屑等其障积作用,部分海绵被藻类包覆共同生长,组成抗浪格局,为造礁生物进一步繁盛创造了条件,由于此时水动能仍还较小,形成的礁体规模还比较小。

3.2.2 成礁—泛殖期

泛殖阶段是台缘丘礁和台缘堤礁形成的重要阶段,其主要特征是海绵等造礁生物得以迅速发展,除囊状海绵、串珠状海绵等造架生物外,粘结生物、柱状海绵也急剧增多,海绵、水螅及苔藓虫等造礁生物群居在一起形成骨架。这一时期的表层栖居着门类众多的附礁生物,许多特殊的生存空间如洞穴、缝隙等大量出现,提供了更为复杂、不同层次的栖息地。礁体具有明显的抗浪能力,当生物礁进一步向海平面生长,接近浪基面附近时,强烈的风浪作用将礁体部分打碎,形成礁角砾岩,并随波浪回流堆积在礁体前缘斜坡上,形成礁前塌积岩。该段岩性由于后期成岩作用,白云石化、溶蚀作用强烈,形成大量溶蚀孔洞,部分充填大量碳化沥青或方解石,是非常有利的储层岩石类型。

3.3 统殖期

不同类型的台缘生物礁绝灭的方式有所不同。台缘点礁大部分是被海水淹没而死,分不出早中晚期,生物礁大部分消亡于长二期,少量延伸到长三中期,纵向上生物礁相转换为水体更深的开阔台地相;而台地边缘丘礁和堤礁的统殖期可分为统殖早—中期和统殖中—晚期。

3.3.1 统殖早—中期

障积礁、粘结骨架礁、骨架礁形成后,礁顶面逐渐往海平面方向生长,当生物礁继续往上长到浪基面附近时,由于此时水体能力很高,高能量的水体对生物礁顶部进行打碎破坏,并将阻止礁继续往上生长,从而形成了较高能的生屑滩和较多的礁角砾岩,由生物礁相向水体更浅的潮坪相转变。

3.3.2 统殖中—晚期

当生物礁停止向上生长时,长兴期总体的海侵

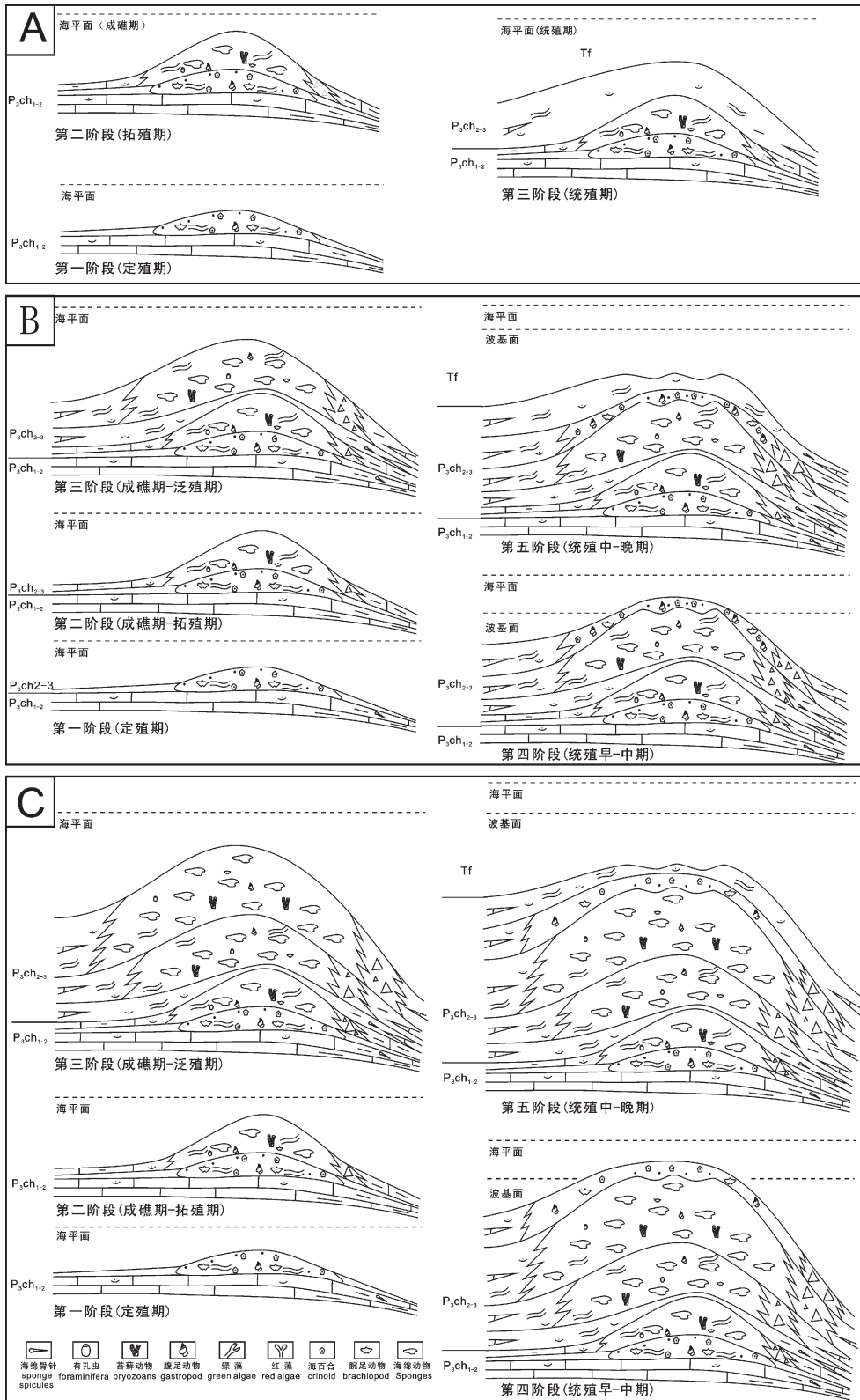


图 4 不同类型台地边缘生物礁发育演化阶段 (A 为台缘点礁, B 为台缘丘礁, C 为台缘堤礁)

Fig.4 Growth-evolution stages of different platform-edge reefs in Permian Changxing Formation of eastern Sichuan Basin (A. Patch reefs, B. Mound reefs, C. Barrier reefs)

使得生物礁体很快被淹没,在礁顶部沉积开阔台地相的生屑微晶灰岩或微晶灰岩,长兴期末发生海平面大幅度下降事件^[10],若生物礁发育延续到长三中晚期,研究区台缘生物礁将由生物礁相转变为潮坪相或台缘浅滩(台缘堤礁),生物礁发育没有延续到长三中晚期,将是生物礁相—潮坪相—开阔台地相—潮坪相的转换过程(台缘丘礁)。

4 结论及建议

(1)按照生物礁发育位置及规模,文章尝试将川东地区台地边缘生物礁分为台缘点礁、台缘丘礁和台缘堤礁,其中台缘点礁主要发育于研究区环开江—梁平海槽的南端,发育于长一时期或长二到长三期,主要由障积礁组成,礁体发育时间短、发育规模最小;台缘丘礁发育于研究区环开江—梁平海槽的中端—北端,发育于长二—长三期,大部分生物礁延续到了长兴末期,礁体发育时间相对较长、发育规模相对较大;台缘堤礁主要发育于鄂西海槽边缘或开江—梁平海槽最北端的川东北地区,礁体发育于长一时期或长二初期,一直延续到长兴组末期,礁体发育时间最长、规模最大。

(2)台缘点礁可识别出定殖期、成礁期—拓殖期和统殖期三个演化阶段,台缘丘礁和堤礁可识别出定殖期、成礁期—拓殖期、成礁期—泛殖期、统殖早—中期和统殖中—晚期 5 个演化阶段。

研究表明,川东地区长兴组台地边缘生物礁在开江—梁平海槽北端比南端具有更大的勘探潜力,尤其是沿海槽分布的川东北地区更是具备生长台缘堤礁的地质条件,值得重点勘探。

参考文献(References):

- [1] 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).
- [2] 郑荣才,胡忠贵,冯青平,等.川东北地区长兴组白云岩储层的成因研究[J].矿物岩石,2007,27(4):78-84.
Zheng Rongcai, Hu Zhonggui, Feng Qingping, et al. Genesis of dolomite reservoir of the Changxing Formation of Upper Permian, Northeast Sichuan Basin[J]. J. mineral Petrol., 2007, 27(4):78-84(in Chinese with English abstract).
- [3] 洪海涛,王一刚,杨天泉,等.川北地区长兴组沉积相和生物礁气

- 藏分布规律[J].天然气工业,2008,28(1):38-41.
Hong Haitao, Wang Yigang, Yang Tianquan, et al. Sedimentary facies of Changxing Formation and distribution of organic reef gas reservoirs in Northern Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(1):38-41(in Chinese with English abstract).
- [4] 张延充,杨爱国,梅燕,等.泛开江—梁平海槽及勘探有利相带地震预测[J].天然气工业,2009,29(10):28-30.
Zhang Yanchong, Yang Aiguo, Mei Yan, et al. Kaijiang—Liangping Pan—trough and seismic prediction of favorable facies belt[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(10):28-30(in Chinese with English abstract).
- [5] 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).
- [6] 周刚,郑荣才,王炯,等.川东—渝北地区长兴组礁、滩相储层预测[J].岩性油气藏,2009,21(1):15-21.
Zhou Gang, Zheng Rongcai, Wang Jiong, et al. Features and prediction of reef and shoal facies reservoir in the Changxing Formation, Upper Permian in Eastern Sichuan and Northern Chongqing [J]. Lithologic Reservoirs, 2009, 21 (1):15-21 (in Chinese with English abstract).
- [7] 赵文光,郭彤楼,蔡忠贤,等.川东北地区二叠系长兴组生物礁类型及控制因素[J].现代地质,2010,24(5):951-956.
Zhao Wenguang, Guo Tonglou, Cai Zhongxian, et al. The controlling factors and types of Carbonate reef of Permian Changxing Formation in northeast of Sichuan Basin [J]. Geoscience, 2010, 24(5):951-956(in Chinese with English abstract).
- [8] 何鲤,罗潇,刘莉萍,等.试论四川盆地晚二叠世沉积环境与礁滩分布[J].天然气工业,2008,28(1):28-32.
He Li, Luo Xiao, Liu Liping, et al. A discussion on depositional environment in late Permian and distribution of reef-bank in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28 (1):28-32 (in Chinese with English abstract).
- [9] 张继庆,李汝宁,官举铭,等.四川盆地及邻区晚二叠世生物礁[M].成都:四川科学技术出版社,1990.
Zhang Jiqing, Li Runing, Guan Juming, et al. The Late Permian Reefs of the Sichuan Basin and Its Adjacent Area [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Publishing House, 1990 (in Chinese with English abstract).
- [10] 周刚,郑荣才,罗平,等.川东华蓥二叠系—三叠系界线地层地质事件与元素地球化学响应[J].地球科学,2012,37(增刊):101-110.
Zhou Gang, Zheng Rongcai, Luo Ping, et al. Geological events and their geochemical responses of the Permian-Triassic Boundary, Huaying, Eastern Sichuan [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2012, 37 (supp.):101-110 (in Chinese with English abstract).

The types and evolution of platform–edge reefs in Permian Changxing Formation, eastern Sichuan Basin

ZHOU Gang¹, ZHENG Rong–cai², CHEN Hao–ru², SHI Jian–nan², WEN Hua–guo²

(1. Exploration and Development Research Institute of PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: The formation, development and consumption of Kaijiang–Liangping trough have obviously controlled the distribution of Changxing Formation reefs, and thus determined the types, sizes and distribution of the reef gas reservoirs. Through the detailed study of internal structures and their development, the authors found that the platform–edge reefs have very different sedimentary characteristics in different places near the trough, and could be divided into patch reefs, mound reefs and barrier reefs according to the development scales. The platform–edge reefs and their evolutionary stages were summarized systematically. The patch reefs were mainly developed from Changxing 1st period or Changxing 2nd period to Changxing 3rd period on the southern side of Kaijiang–Liangping trough, characterized by the shortest formation time, the smallest scale, the most simple texture and three evolutionary stages. The mound reefs were mainly developed from Changxing 2nd to Changxing 3rd period on the middle to northern side of Kaijiang–Liangping trough, and their development could mostly last to the Changxing 3rd period, with the characteristics of larger scale, more complex texture relative to the patch reef, and five evolutionary stages. The barrier reefs were mainly developed from Changxing 1st to Changxing 2nd period at western Hubei trough or in east Sichuan area, and their development mostly lasted to Changxing 3rd period, with the characteristics of longest formation time, largest scale, most complex evolution and five evolutionary stages.

Key words: eastern Sichuan Basin, Changxing Formation, reef, types of reefs, platform–edge reefs

About the first author: ZHOU Gang, male, born in 1984, doctor, mainly engages in the study of sedimentology and reservoir geology; E–mail: zhougang29@petrochina.com.cn.