

文章编号: 1000-0550(2012)01-0033-10

鄂西利川见天坝长兴组生物礁内部构成及成礁模式^①

胡明毅^{1,2} 魏欢¹ 邱小松¹ 赵恩璋¹

(1. 长江大学地球科学学院 湖北荆州 434023;

2. 长江大学教育部油气资源与勘探技术重点实验室 湖北荆州 434023)

摘要 鄂西利川见天坝位于川东碳酸盐岩台地与鄂西海槽之间的台地边缘相带,晚二叠世长兴期该区水体逐渐由深变浅,发育了一套规模巨大的加积—进积型台地边缘生物礁沉积。通过野外露头剖面精细地质写实研究,对该区生物礁内部构成特征进行了深入解剖,探讨了该区生物礁发育模式。研究表明利川见天坝生物礁礁体位于长兴组层序1的高位体系域,其内部由4个准层序组构成,PSS1中下部由一套斜坡相深灰色薄层状泥晶灰岩和含生屑泥晶灰岩沉积组成,该准层序组顶部发育一套灰色中层状生屑灰岩滩相沉积,见天坝生物礁就是该生屑滩基础上发展起来的。准层序组PSS2属台地边缘生物丘沉积,以灰色块状藻粘结岩、藻粘结—障积岩沉积为主。PSS3为该区生物礁主体部分,为一套灰色块状障积—骨架岩和骨架岩沉积,在礁前斜坡带发育有垮塌灰岩角砾岩沉积。PSS4由浅灰色中厚层状生物碎屑含云灰岩、残余生屑白云岩组成,属台地边缘滩和局限台地沉积。随着相对海平面不断下降,水动力条件逐渐增强,利川见天坝生物礁经历了生物礁奠基、初期繁盛、最大繁盛和生物礁衰亡等四个演化阶段。礁体储层主要分布在高位体系域顶部,其形成环境为台地边缘生物丘、台地边缘生物礁和礁顶局限台地白云岩沉积,该区优质储层与礁体形成沉积条件密切相关。

关键词 生物礁 层序地层 准层序组 成礁模式 长兴组 利川见天坝

第一作者简介 胡明毅 男 1965年出生 教授 博士研究生导师 沉积学与层序地层学 E-mail: humingyi65@163.com

中图分类号 P588.24⁺8 **文献标识码** A

生物礁是碳酸盐沉积中一种非常重要和特殊的沉积类型,它主要由大量原地生长的各种固着生物所形成的一种碳酸盐建造。由于生物礁礁体内部孔隙和孔洞非常发育,从而容易成为油气和多种矿藏资源的有利富集场所,国内外地质学家对生物礁进行了大量的研究,已在地质历史时期发现了众多不同类型的生物礁及生物礁型油气藏^[1~5]。近几年来,随着以普光礁滩储层为代表的海相特大型气田的发现,揭开了我国生物礁油气藏研究的高潮。目前关于四川盆地二叠系长兴组生物礁研究成果较多,但主要集中在对长兴组生物礁岩石学特征、礁体分布规律、礁体储层发育特征和生物礁气藏形成机理等方面的研究^[6~10],而对长兴组生物礁(丘)内部构成特征和成礁模式的研究则较为薄弱^[11,12]。本文以鄂西利川见天坝长兴组生物礁露头剖面精细写实为基础,对该区长兴组生物礁内部构成特征进行了深入研究,探讨了该区生物礁成礁模式,指出了礁体内部有利储层的分布规律。

1 地质背景及剖面简介

鄂西利川见天坝剖面位于湖北西部利川复向斜的中北部,距利川市柏杨镇东北方向约25 km。晚二叠世早期(龙潭期)川东—鄂西地区主要为局限潮坪—潟湖沉积环境,发育了一套含煤碎屑岩与碳酸盐岩互层沉积;晚二叠世晚期(长兴期),随着区域海平面上升,在川东—鄂西地区大部分地区以开阔台地沉积为主,在开江—梁平地区发育了一套陆棚—盆地相沉积^[13,14],在城口—鄂西地区发育了一套以硅质岩沉积为主的深水盆地相沉积(图1)。利川见天坝在晚二叠世长兴期总体处于城口—鄂西海槽与川东—鄂西台地之间的台地边缘相带,其下部为一套深水斜坡相沉积,向上水体逐渐变浅,发育了一套以生物礁(丘)为主体的台地边缘礁相沉积,到长兴组末期发育了一套开阔台地—局限台地相沉积。

鄂西利川见天坝剖面长兴组发育完整,厚度为246.1 m,该剖面长兴组与下伏龙潭组和上覆下三叠

^①国家重大科技专项(编号:2011ZX05007-002)和中国石油化工集团公司科技项目(编号:06081)联合资助。
收稿日期:2010-10-22;收修改稿日期:2011-02-21

统飞仙关组均为整合接触。根据该区岩性、古生物组合及沉积发育特征,将长兴组划分为2个三级层序,层序1底界面为上二叠统龙潭组与长兴组界面,二者之间为岩性—岩相转换界面,界面之下为龙潭组开阔台地相灰色薄层状泥晶灰岩沉积,界面之上为长兴组底部斜坡相深灰色薄层状含生屑泥晶灰岩沉积。层序2底界面位于长兴组内部,界面之下为一套浅灰色中厚层细晶白云岩、残余生屑灰质白云岩沉积,界面之上为开阔台地相灰色中层状泥晶灰岩沉积,界面附近发育局部暴露溶蚀作用标志。长兴组生物礁位于层序1的高位体系域中。其中层序1可进一步划分为5个准层序组: PSS0、PSS1、PSS2、PSS3、PSS4(图1和图2)。PSS0属长兴组早期沉积,对应于层序1的海侵体系域,以深灰色薄层含生物屑泥晶灰岩沉积为主,发育有孔虫和菊石类化石,属斜坡相沉积。PSS1、PSS2、PSS3和PSS4属长兴组层序1高位体系域沉积。PSS1对应于长兴组一段上部沉积,其下部为深灰色薄层状含生物屑泥晶灰岩,中部为灰色薄—中层状泥晶灰岩局部夹硅质结核,上部为灰色中层状泥晶生物屑灰岩。PSS2对应于长兴组长二段下部地

层,其下部为一套浅灰色块状藻粘结礁灰岩,上部为浅灰色块状藻粘结—障积礁灰岩,在顶部局部见油侵和沥青。PSS3对应于长兴组长二段上部地层,其下部为一套浅灰色块状障积—骨架生物礁灰岩,中上部为一套块状海绵生物骨架礁灰岩。PSS4对应于长兴组长三段下部地层,其下部为一套灰色中—厚层状生物屑含云灰岩或含灰云岩,上部为一套厚层状具残余生屑结构的灰质细晶云岩、细—中晶白云岩。

2 生物礁内部构成特征

通过对礁体内部岩性、生物组合特征进行深入研究,不仅能识别出该礁体的内部构成特征,而且对于揭示其沉积环境演化、生物礁成因模式及有利储层展布有重要指导意义。

2.1 准层序组 PSS1 内部构成特征

PSS1位于剖面3~5层,主要由深灰色薄层状或薄—中层状泥晶灰岩、含生屑泥晶灰岩、中层状生屑泥晶灰岩组成,其内部可进一步划分为三个准层序即PS2、PS3和PS4(图2)。其中PS2下部为深灰色薄层泥晶灰岩,向上生物含量增加,逐渐过渡为深灰色薄

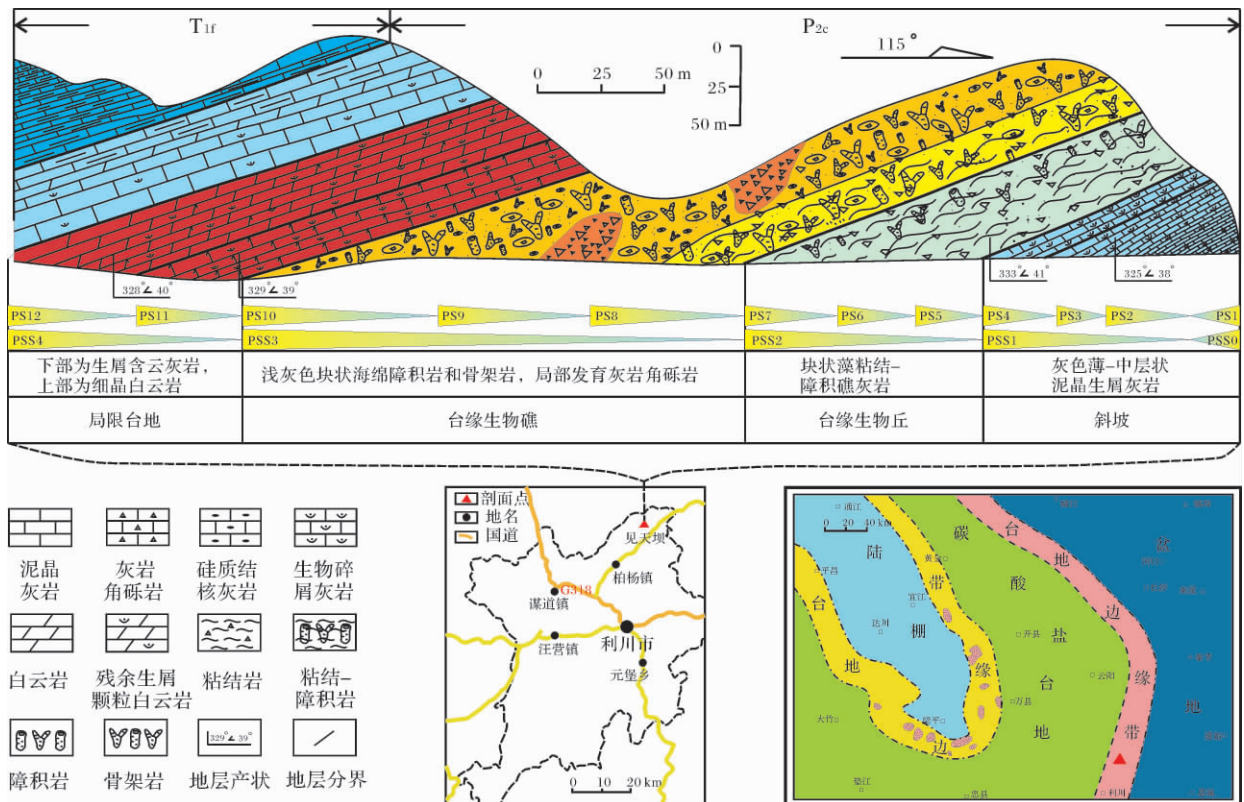


图1 鄂西—川东地区上二叠统长兴组古地理及利川见天坝剖面交通位置及剖面概况
 Fig. 1 Paleogeography of the Upper Permian Changxing Formation in the eastern Sichuan and western Hubei and traffic location and the section of Jiantianba, Lichuan

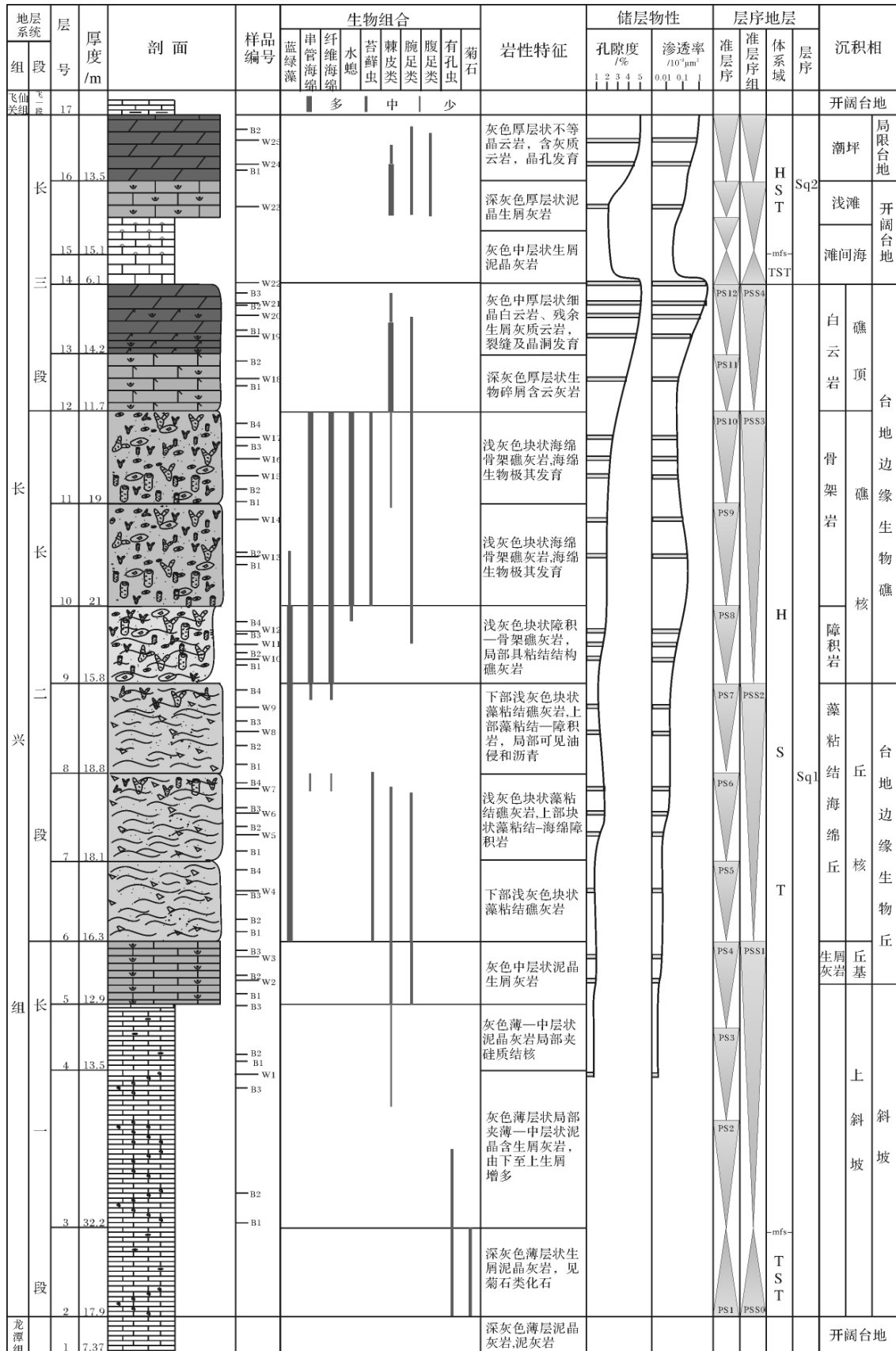


图 2 利川见天坝长兴组生物礁沉积特征(图例见图 1)

Fig. 2 Sedimentary features of reef (Changxing Formation) in Jiantianba section, Lichuan

层或薄—中层含生屑泥晶灰岩,产有孔虫和菊石化石。PS3 总体特征与 PS2 较为相似,其下部为深灰色薄层泥晶灰岩,向上逐渐过渡为深灰色薄层或薄—中层含生屑泥晶灰岩,反映水体总体向上变浅、生物含量逐渐增加的特点。PS4 下部为灰色薄—中层状泥晶灰岩局部夹硅质结核,上部为灰色中层状生屑灰岩,生物屑含量在 55%~60% 之间,主要为棘皮、腕足类、藻屑和瓣类等生物屑,填隙物以泥晶为主,少量亮晶,反映水动力条件总体较弱,为低能滩相沉积环境。

总之,准层序组 PSS1 内部主体为一套低能斜坡相沉积,发育了一套深灰色薄层状或薄—中层状泥晶灰岩和含生屑泥晶灰岩沉积,随着相对海平面的不断下降,水体温度和深度适中、水体洁净,适宜生物的生长所需要的条件,生物开始生长,沉积了一套灰色中层状泥晶生屑灰岩,见天坝生物礁就是上述低能的生屑滩基础上发展起来的。

2.2 准层序组 PSS2 内部构成特征

PSS2 位于剖面 6~8 层,主要为一套灰色块状藻粘结岩、藻粘结—障积生物灰岩和藻粘结—海绵生物灰岩组成,局部可见油浸和沥青,其内部可进一步划分为三个准层序 PS5、PS6 和 PS7(图 2)。PS5 主要由灰色块状藻粘结岩构成,藻粘结岩主要由包裹状蓝绿藻、少量被包裹的生物及亮晶胶结物组成,蓝绿藻含量达 50%~65%,其它生物含量小于 15%,藻间充填物多为亮晶方解石。具粘结结构的藻粘结岩形成于较弱—中等水动力条件(图 3a、3b)。PS6 下部主要由灰色块状藻粘结灰岩构成,上部由灰色块状藻粘结—海绵障积岩构成。该准层序下部主要发育蓝绿藻生物,含量达 55%~65%,具典型的粘结结构;该准层序上部除发育蓝绿藻外,还发育较多的海绵生物,其中海绵含量在 15%~25%,蓝绿藻含量在 35%~40%,具明显的藻粘结—障积结构(图 3c),反映出向上水体变浅、水动力条件增强的特点。PS7 自下向上主要发育灰色块状藻粘结—海绵障积礁灰岩,反映出自下向上由粘结结构向粘结—障积和障积结构转变的过程,同时也反映出水体逐渐变浅、水动力逐渐变强的特点,在该准层序顶部障积岩生物体腔中见有明显的油浸和沥青。

总之,准层序组 PSS2 主要为一套台地边缘生物丘沉积,发育了一套灰色块状藻粘结、藻粘结—障积和障积生物灰岩,该准层序组内部发育三个准层序,其中 PS5 主要为藻粘结灰岩、PS6 和 PS7 下部为藻粘

结灰岩,上部为藻粘结—障积灰岩,反映了水动力逐渐变强和水体逐渐变浅,生物丘逐渐繁盛的特点。

2.3 准层序组 PSS3 内部构成特征

PSS3 位于剖面 9~11 层,主要由一套灰色块状障积—骨架礁灰岩、海绵生物骨架礁灰岩局部夹灰岩角砾岩组成,其内部可进一步划分为三个准层序 PS8、PS9 和 PS10(图 2)。PS8 主要由灰色块状障积—骨架岩组成,造礁生物主要为串管海绵、纤维海绵等,具明显的包覆构造,基质为灰泥、球粒等,残留孔洞被亮晶方解石胶结物充填。PS9 主要由灰色块状海绵骨架岩组成,该时期造礁生物极其繁盛,主要为串管海绵和纤维海绵,同时发育有少量硬海绵、水螅和苔藓虫等,造礁生物含量可达 50%~65%(图 3a、3d、3e)。PS10 主要由灰色块状海绵骨架礁灰岩组成,同准层序 PS9 一样,准层序 PS10 造礁生物极其繁盛,同时在礁体两侧局部发育有中厚层状灰岩角砾岩沉积(图 3f)。

综上所述,在 PSS3 时期随着相对海平面的进一步下降,造礁生物极其繁盛,主要有串管海绵、纤维海绵以及少量硬海绵、水螅和苔藓虫等,造礁生物的不断增多,使生物礁的发育达到鼎盛,在此阶段发育了一套以灰色块状障积—骨架岩和骨架岩为主体的礁灰岩沉积,在礁前和礁后局部发育有垮塌灰岩角砾岩沉积,该准层序 PSS3 构成了台地边缘生物礁的主体沉积。

2.4 准层序组 PSS4 内部构成特征

PSS4 位于剖面 12~13 层,主要为一套浅灰色中厚层状生物碎屑含云灰岩、残余生物碎屑灰质云岩、生物碎屑含灰云岩和细晶白云岩沉积,其内部可进一步划分为二个准层序 PS11 和 PS12(图 2)。

PS11 主要由浅灰色中厚层状生物碎屑含云灰岩、残余生物碎屑灰质云岩、生物碎屑含灰云岩组成,该准层序中生物屑发育,生物屑主要为棘皮类、钙藻和瓣类等,自下向上白云岩化程度增强,白云石含量增高。PS12 下部由浅灰色中厚层状残余生物碎屑灰质云岩和含灰云岩组成,上部由浅灰色中厚层细—中晶白云岩沉积组成(图 3g)。总之,PSS4 主要为一套台地边缘滩和局限台地沉积,由浅灰色中厚层状生物碎屑含云灰岩、残余生物碎屑灰质云岩、生物碎屑含灰云岩组成。

3 生物礁成礁模式

鄂西利川见天坝位于川东鄂西碳酸盐岩台地和

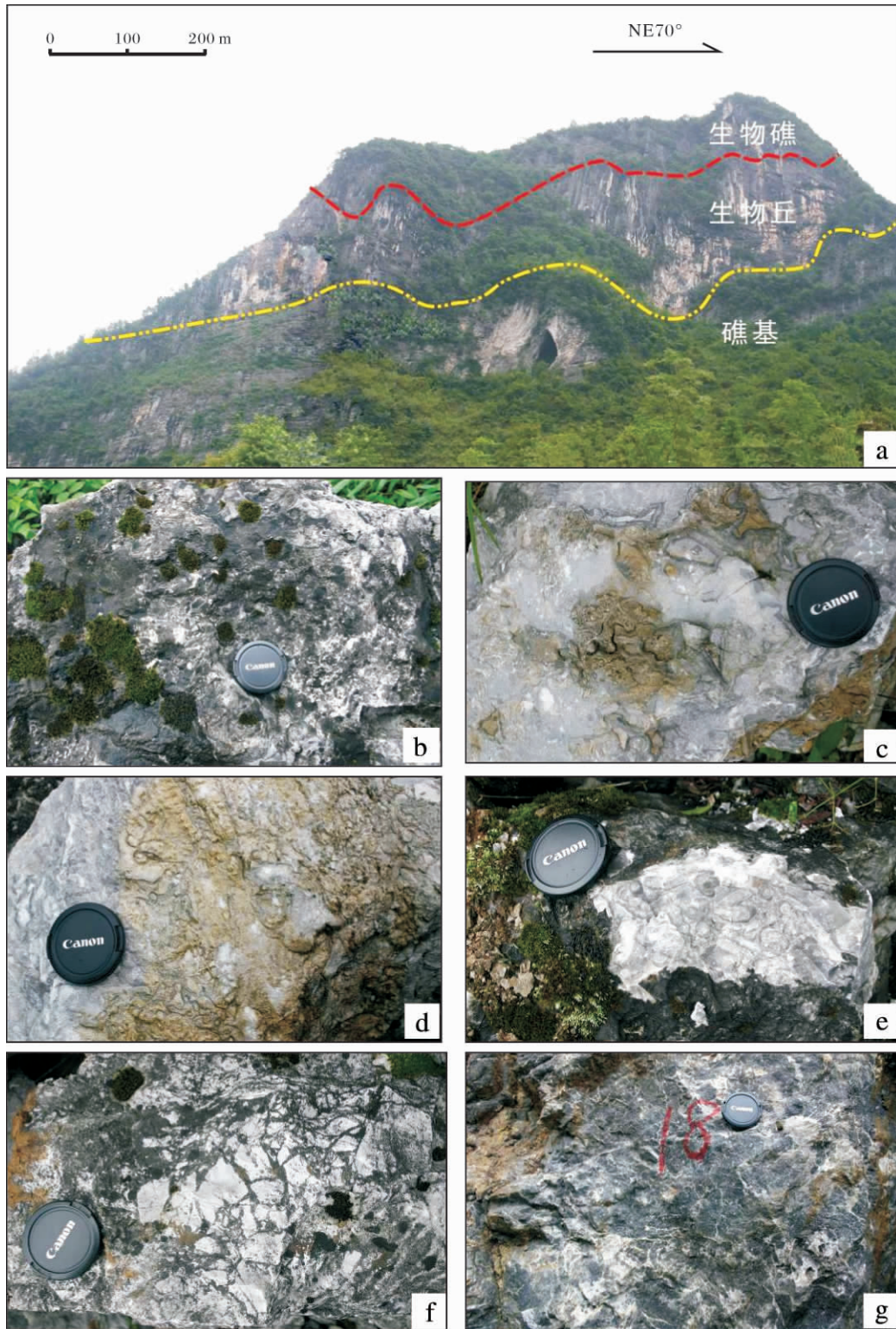


图 3 利川见天坝长兴组生物礁内部岩性及生物构成特征

a. 利川见天坝生物礁峭壁断面, 自下而上发育礁基、生物丘和生物礁沉积, 礁基由中层状生屑灰岩沉积组成, 生物丘主要由块状藻粘结岩构成, 生物礁主要由块状障积—骨架岩构成; b. 藻粘结灰岩, 主要由蓝绿藻构成, 含量达 65%; c. 粘结—障积礁灰岩, 海绵含量约为 25%, 蓝绿藻含量约为 35%, 具明显的藻粘结—障积结构; d. 障积—骨架礁灰岩, 具明显的障积—骨架结构, 造礁生物主要为串管海绵和纤维海绵, 含量约为 60%; e. 骨架礁灰岩, 具生物骨架结构, 造礁生物主要为串管海绵、纤维海绵等; f. 灰岩角砾岩, 角砾为棱角状, 为礁前垮塌沉积形成; g. 深灰色厚层状白云岩沉积, 裂缝和溶蚀晶洞发育。

Fig. 3 Lithology and biology of Changxing Formation reef in Jiantianba section, Lichuan

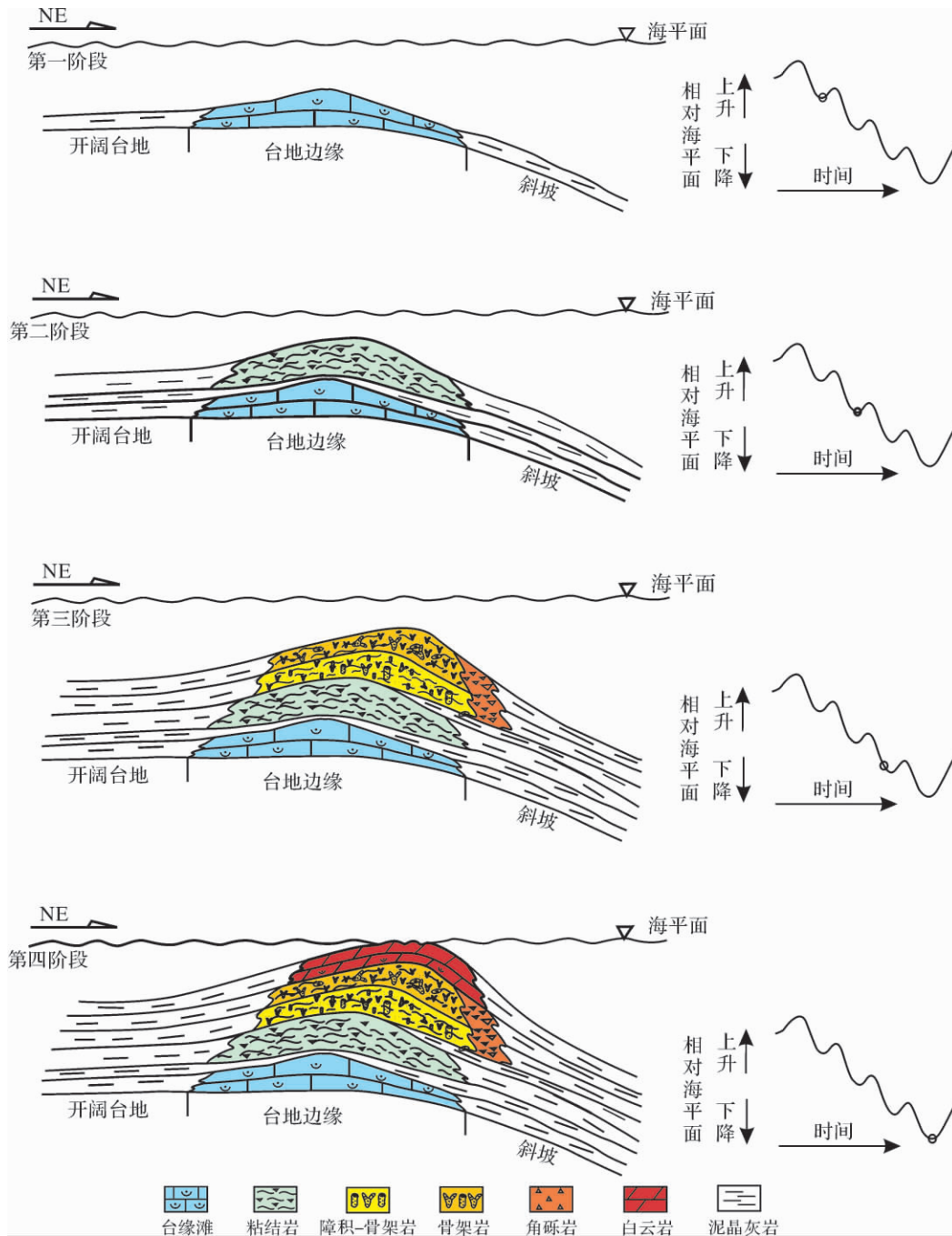


图4 利川见天坝长兴组生物礁成礁模式图

Fig. 4 Development model of Changxing Formation reef in Jiantianba , Lichuan

城口—鄂西海槽之间,其西部为川东—鄂西碳酸盐岩台地,东北部为城口—鄂西海盆^[15,16]。晚二叠世长兴组早期,见天坝地区为一套深水斜坡沉积,随着相对海平面不断下降,该区形成了一套规模巨大的加积—进积型台地边缘生物礁。根据利川见天坝生物礁岩石特征、生物组合及沉积环境演化特征,将利川见天坝生物礁划分为四个发育阶段^[17],各阶段发育特

征如下(图4)。

1) 生物礁发育第一阶段:该阶段为生物礁奠基阶段,由准层序组 PSS1 构成。在 PSS1 早中期,利川见天坝地区处于台地前缘斜坡相带,水体较深,不利于生物礁发育,形成了一套深灰色薄层泥晶灰岩和含生屑泥晶灰岩沉积。到 PSS1 晚期,由于相对海平面下降,形成了一套低能的泥晶生屑灰岩滩相沉积,见

天坝生物礁就是低能生屑滩基础上发展起来的,由于当时水体较深,沉积物颗粒较细,生物类型和数量都较少,主要是一些藻屑、棘皮、腕足类和蜓类等浅海生物。

2) 生物礁发育第二阶段:该阶段为生物礁初期繁殖阶段,主要由灰色块状藻粘结岩、藻粘结—障积生物灰岩组成。随着相对海平面下降,利川见天坝一带海水开始逐渐变浅,在上述环境条件下,首先是藻类等造礁生物礁开始捕获生物屑或灰泥并在生物滩底质上固着生长。随后海绵等造礁生物开始以障积方式生长,海绵和藻类一起构成粘结—障积礁灰岩,同时附礁生物腕足、有孔虫、钙藻等也大量繁殖,灰泥及生屑在固着的生物间大量沉积。生物作用造成的沉积速率明显高于非礁相地区,使得礁体沉积区地貌隆起明显高于同期的非礁体沉积区,这样构成了生物礁初期繁盛阶段。由于该阶段造礁生物主要为藻类,造礁方式主要为粘结作用,同时发育有粘结—障积作用,因此该阶段属台地边缘生物丘发育阶段。

3) 生物礁发育第三阶段:该阶段为生物礁最大繁盛阶段,由准层序组 PSS3 构成,属台地边缘生物礁发育阶段。随着相对海平面进一步下降,研究区波浪作用进一步增强带,海水的温度、养分、光线等搭配达到了海绵等造礁生物生长的最佳状态,造架生物纤维海绵、串管海绵、苔藓虫等不断生长,附礁生物腕足、有孔虫、钙藻等大量繁殖,使生物礁的发育达到鼎盛,形成了一套以骨架岩和障积—骨架岩为主体的生物礁。由于该时期生物生长速度快,其厚度大大高于同期沉积,因此在礁前向深水斜坡地带发育有垮塌的灰岩角砾岩沉积。

4) 生物礁发育第四阶段:该阶段为生物礁衰亡阶段,由准层序 PSS4 构成,属礁顶局限台地相沉积。主要为一套中厚层状细晶白云岩、残余生屑灰质云岩、生物碎屑含云灰岩。随着造礁生物的繁盛,礁体发育迅速,当礁体加积增长达到平均海平面,形

成极浅水环境并间歇暴露,使窄盐度造礁生物群大量死亡,只有为数不多的广盐性物种如腹足类、蓝绿藻类等生存,使生物分异度突然降低。这时候沉积物具有局限台地环境的特征,生物数量和种类大量减少并出现白云石化作用,出现干裂以及强烈淋滤结构,生物生长受到抑制,在纵向上礁体停止发育,顶部出现白云石化现象^[18,19]。

综上所述,鄂西利川见天坝生物礁是在相对海平面不断下降过程中形成的一套的大型加积—进积型生物礁(图4)。当水体较深时,由于养分、食物和光线的缺乏,生物数量和种类较少,只能在斜坡背景上形成低能的生屑滩,而这种生屑滩恰恰成为礁体发育的基石;随着相对海平面的下降,波浪增强,环境越来越有利于生物的生长,生物开始繁盛,生物的繁盛使得沉积作用速度加快,从而相对海平面下降更快;当礁体的生长速率大于海平面上升速率,由于容纳空间的增长速率小于礁的生长速率,当礁体生长到一定程度的时候,水体必然会变得过浅而不适于礁的生长,这时礁体只能向海盆方向迁移以弥补容纳空间增长量的不足所导致的水体变浅,当礁体不能继续迁移或者迁移速度赶不上海平面下降速度时,环境已经不能满足礁体的生长,生物礁开始死亡,礁体死亡后遭受暴露和淡水淋滤作用,同时发生混合水白云石化作用。

4 礁体内部有利储层展布

鄂西利川见天坝长兴组生物礁储层主要发育于长兴组 Sq1 和 Sq2 的高位体系域时期,其产出环境为台地边缘丘、台地边缘生物礁和礁顶白云岩沉积。储层岩石类型主要有藻粘结岩、障积礁灰岩、骨架礁灰岩和晶粒白云岩等类型^[20]。其中晶粒白云岩储层主要分布在礁体顶部(PSS4),累计厚度为 22.7 m,孔隙度最大可达到 4.8%,最小为 1.8%,平均为 3.7%,渗透率最大为 $1.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表1),主要储集空间为晶间孔和晶间溶孔,其储层物性相对最好;骨架礁

表1 鄂西利川见天坝长兴组生物礁不同类型岩石储层物性分布特征

Table 1 Porosity and permeability distribution of different rocks of Changxing Formation reef in Jiantianba section, Lichuan

岩石类型	礁体构成	样品数	孔隙度/%		渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	
			分布范围	平均值	分布范围	平均值
晶粒白云岩	礁顶或局限台地	6	1.8~4.8	3.7	0.8~1.3	0.93
骨架礁灰岩	台地边缘礁	5	1.73~2.8	2.1	0.09~0.38	0.26
障积礁灰岩	台地边缘丘—礁	4	0.9~2.3	1.5	0.07~0.42	0.12
藻粘结岩	台地边缘丘	5	0.38~1.6	0.9	0.04~0.17	0.07
生屑灰岩	丘基	2	0.65~1.21	0.93	0.07~0.11	0.09

灰岩储层分布在礁体中上部(PSS3),厚度为40.2 m,孔隙度最大可达到2.8%,最小为1.73%,平均为2.1%,渗透率最大可达到 $0.38 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主要储集空间为生物体腔孔和溶孔孔隙,其储层物性相对较好。藻粘结礁灰岩储层分布在礁体下部(PSS2),厚度为34.4 m,孔隙度最大可达到1.6%,最小为0.38%,平均为0.9%,渗透率最大可达到 $0.17 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主要储集空间为粘结格架孔、溶孔及重结晶作用后形成的晶间孔,其储层物性相对最差。

从上面分析可以看出利川见天坝生物礁储层要分布在长兴组层序格架内部的高位体系域,随着相对海平面不断下降,水动力条件逐渐增强,生物礁演化经历了以粘结结构为主的台地边缘丘、以障积—骨架结构为主的台地边缘生物礁、以及礁顶暴露白云岩化作用形成的晶粒白云岩,其储层物性由下向上逐渐变好,有利储层主要分布在礁体中上部和礁体顶部。

5 结论

通过对鄂西利川见天坝长兴组生物礁内部构成特征及成礁模式进行研究得出以下几点认识:

(1) 鄂西利川见天坝生物礁位于川东台地和城口—鄂西海槽之间的台地边缘相带,该区生物礁是在相对海平面不断下降的背景条件下形成的。随着相对海平面的不断下降,水体逐渐变浅,该区形成了一套规模巨大的加积—进积型台地边缘生物礁沉积序列。

(2) 鄂西利川见天坝生物礁内部由4个准层序组构成。PSS1主要由一套斜坡相深灰色薄层状泥晶灰岩和含生屑泥晶灰岩沉积组成,该准层序组顶部发育一套灰色中层状泥晶生屑灰岩滩相沉积。准层序组PSS2属台地边缘生物丘沉积,发育了一套灰色块状藻粘结、藻粘结—障积和障积生物灰岩沉积。PSS3以灰色块状障积—骨架岩和骨架岩为主体的礁灰岩沉积,在礁前局部发育有垮塌灰岩角砾岩沉积,该准层序PSS3构成了台地边缘生物礁的主体沉积。PSS4由浅灰色中厚层状生物碎屑含云灰岩、残余生物碎屑灰质云岩、生物碎屑含灰云岩组成,属台地边缘滩和局限台地沉积。

(3) 鄂西利川见天坝生物礁发育过程经历了生物礁奠基、初期繁盛、最大繁盛和生物礁衰亡等四个大的演化阶段,其对应的沉积环境分别为较深水低能生屑滩、台地边缘生物丘、台地边缘生物礁和局限台

地沉积。

(4) 鄂西利川见天坝长兴组生物礁储层主要分布在层序格架内的高位体系域时期,其形成环境为台地边缘生物丘、台地边缘生物礁相和礁顶局限台地相沉积,储层岩石类型有藻粘结岩、海绵障积—骨架礁灰岩和晶粒白云岩等多种类型。随着相对海平面不断下降,水动力条件逐渐增强,生物礁储层物性由下向上逐渐变好,有利储层主要分布在礁体中上部和礁体顶部。

参考文献(References)

- 1 范嘉松. 中国生物礁与油气[M]. 北京: 海洋出版社, 1996: 326-329 [Fan Jiasong. Reef and Oil & Gas in China[M]. Beijing: Ocean Press, 1996: 326-329]
- 2 王永标, 徐桂荣, 林启祥, 等. 湖南慈利晚二叠世海绵礁与珊瑚礁的古生态研究[J]. 地球科学, 1997, 22(2): 135-138 [Wang Yongbiao, Xu Guirong, Lin Qixiang, et al. Paleocological relations between coral reef and sponge reef of Late Permian in Cili area, West Hunan province[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 1997, 22(2): 135-138]
- 3 沈安江, 陈子恩. 南盘江地区二叠纪生物礁成因类型及潜伏礁预测[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(3): 29-34 [Shen Anjiang, Chen Zien. Genetic type of Permian reefs and its application to prediction of buried reefs in Nanpanjiang, South China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(3): 29-34]
- 4 胡明毅, 朱忠德, 贺萍, 等. 轮南—巴楚地区奥陶系生物礁储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 179-182 [Hu Mingyi, Zhu Zhongde, He Ping, et al. Ordovician reef in Lunan-Bachu area and their reservoir characteristics[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(2): 179-182]
- 5 朱忠德, 胡明毅, 刘秉理, 等. 中国早—中奥陶世生物礁[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1-165 [Zhu Zhude, Hu Mingyi, Liu Bingli, et al. Early-Middle Ordovician Reefs in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 1-165]
- 6 范嘉松, 张维, 马行, 等. 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, 17(3): 274-282 [Fan Jiasong, Zhang Wei, Ma Xing, et al. The Upper Permian reefs in Lichuan area West Hubei[J]. Scientia Geologica Sinica, 1982, 17(3): 274-282]
- 7 范嘉松, 吴亚生. 川东地区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]
- 8 王一刚, 文应初, 张帆, 等. 川东北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]
- 9 马永生, 傅强, 郭彤楼, 等. 川东北地区普光气田长兴—飞仙关气藏成藏模式和成藏过程[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5): 455-

- 460 [Ma Yongsheng, Fu Qiang, Guo Tonglou, *et al.* Pool forming pattern and process of the Upper Permian-Lower Triassic, Puguang Gas Field, Northeast Sichuan Basin, China [J]. *Petrology & Experiment*, 2005, 27(5): 455-460]
- 10 马永生, 牟传龙, 谭钦银, 等. 达县—宣汉地区长兴组—飞仙关组礁滩相特征及其对储层的制约 [J]. *地学前缘*, 2007, 14(1): 182-192 [Ma Yongsheng, Mou Chuanlong, Tan Qinyin, *et al.* Reef-bank features of Permian Changxing Formation and Triassic Feixian-guan Formation in the Daxian-Xuanhan area, Sichuan Province, South China and constraint for the reservoirs of natural gas [J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(1): 182-192]
- 11 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]
- 12 荣辉, 焦养泉, 吴立群, 等. 川东北开县满月甘泉长兴组生物丘构成及成丘模式 [J]. *沉积学报*, 2009, 27(1): 9-17 [Rong Hui, Jiao Yangquan, Wu Liqun, *et al.* Organic bioherms and their forming models of Changxing Formation in Manyue-Ganquan section of Kaixian, Northeast Sichuan [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(1): 9-17]
- 13 马永生, 牟传龙, 郭旭升, 等. 四川盆地东北部长兴期沉积特征与沉积格局 [J]. *地质论评*, 2006, 52(1): 25-29 [Ma Yongsheng, Mou 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]
- 14 魏国齐, 陈更生, 杨威, 等. 四川盆地北部开江—梁平海槽边界及特征初探 [J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(1): 99-105 [Wei Guoqi, Chen Gengsheng, Yang Wei, *et al.* Preliminary study of the boundary of Kaijiang-Liangping Trough in Northern Sichuan Basin and its characteristics [J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(1): 99-105]
- 15 陈洪德, 覃建雄, 王成善, 等. 中国南方二叠纪层序岩相古地理特征及演化 [J]. *沉积学报*, 1999, 17(4): 510-521 [Chen Hongde, Qin Jianxiong, Wang Chengshan, *et al.* Sequence-based lithofacies and paleogeographic characteristics and evolution of Permian in South China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(4): 510-521]
- 16 胡明毅, 魏国齐, 胡忠贵, 等. 四川盆地中二叠统栖霞组层序岩相古地理特征 [J]. *古地理学报*, 2010, 12(5): 515-526 [Hu Mingyi, Wei Guoqi, Hu Zhonggui, *et al.* Sequence-lithofacies paleogeography of the Middle Permian Qixia Formation in Sichuan Basin [J]. *Journal of Paleogeography*, 2010, 12(5): 515-526]
- 17 王永标, 徐桂荣, 林启祥, 等. 东昆仑地区早二叠世礁岛海的沉积模式 [J]. *中国科学: D 辑*, 2001, 31(3): 243-249 [Wang Yongbin, Xu Guirong, Lin Qixiang, *et al.* Depositional model of early Permian reef-island in Eastern Kunlun [J]. *Science in China: Series D*, 2001, 31(3): 243-249]
- 18 吴亚生, 范嘉松, 姜红霞, 等. 二叠纪末生物礁生态系统绝灭的方式 [J]. *科学通报*, 2007, 52(2): 207-210 [Wu Yasheng, Fan Jiasong, Jiang Hongxia, *et al.* Way of reef ecosystems extinction in End-Permian [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(2): 207-210]
- 19 吴亚生, 范嘉松, 金玉轩, 等. 晚二叠世末期的生物礁出露及其意义 [J]. *地质学报*, 2003, 77(3): 289-296 [Wu Yasheng, Fan Jiasong, Jin Yuxuan, *et al.* Emergence of the Late Permian Changhsingian reefs at the end of the Permian [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2003, 77(3): 289-296]
- 20 胡明毅, 朱忠德, 郭成贤, 等. 中扬子地区海相碳酸盐岩储层类型和特征 [J]. *石油勘探与开发*, 1994, 21(1): 106-113 [Hu Mingyi, Zhu Zhongde, Guo Chengxian, *et al.* Type and property of marine carbonate reservoir in Middle Yangtze River Area [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1994, 21(1): 106-113]

Reef Composition and Their Forming Models of Changxing Formation in Jiantianba Section of Lichuan, Western Hubei

HU Ming-yi^{1 2} WEI Huan¹ QIU Xiao-song¹ ZHAO En-zhang¹

(1. Faculty of Earth Sciences, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023;

2. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, the Ministry of Education, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023)

Abstract: Jiantianba of Lichuan, western Hubei, is located in platform margin facies between carbonate platform facies in the eastern Sichuan and Western Hubei Trough. In the study area, the water gradually shallowed from the bottom to up in the stage of Changxing Formation of Late Permian, and developed a huge scale platform marginal reef deposition in aggradation-progradation. Based on the multidisciplinary analysis of measured profiles, the authors discussed the reef composition and forming model of Changxing Formation reef in Jiantianba section. The study demonstrated that the study area developed two third-order sequences in Changxing depositional stage of late Permian and the body of reef in the Jiantianba of Lichuan was located in HST of sequence 1 of Changxing Formation. And its internal constituted by the four parasequence sets. Pss1 mainly composed by dark grey lamellar or lamellar-middle bedded cryptite, clastozoic cryptite, middle bedded bioclastic cryptite, the internal could be further divided into three parase-

quences namely PS2 , PS3 and PS4. PS2 and PS3 were located in PSS1 lower-middle part which are composed by a set of slope facies of lamellar dark gray mudstone deposit , and PS4 was located at the top of PSS1 and developed a set of gray middle lamellar bioclastic limestone with the shoal facies deposition and the reef of Jiantianba was developed on the basis of the above bioclastic bank. PSS2 was a platform edge bioherm deposition , developed a set of grey massive algae bonding , algal bonding-baffle and baffle bioconstructed limestone , this parasequence set internal developed three parasequences , and PS5 mainly was algae bondstone , the lower part of PS6 and PS7 mainly were algae bondstone , the upper part of PS6 and PS7 was algae bond-bafflestone , which reflects the water shallow gradually , hydrodynamic stronger and bioherm prosperous gradually. PSS3 is mainly composed by a set of gray massive baffle-framework reef limestone , sponge organic framework reef and partly limestone breccia , the internal can be further divided into three parasequences namely PS8 PS9 and PS10; With relative sea level further drops , frame builders extremely flourishing and mainly are *Sphinctozoa* , *Inozoa* and little *Sclerospongiae* , *Hydrozoa* and *Bryozoa* , this period was flourishing period of reefs , this parasequence set constitutes the main deposition of platform margin reefs. PSS4 constituted by a medium-bedded and light gray bioclastic limestone with dolomite and remains of bioclastic dolomite , and belonged to platform edge and restricted platform deposition. As the relative sea level fell gradually and hydrodynamic force strengthening progressively , the reef in the Jiantianba of Lichuan experienced four stages of evolution , including a foundation , the initial flourishing , prosperous , and the largest decline of organic reef. Reefs in Jiantianba of Lichuan reservoir system mainly distributed at the top of the HST , the environment for the formation include platform edge bioherm , platform edge reef and restricted platform dolomite deposition at the top of reef , high quality reservoir is closely related to the reef composition and deposition conditions.

Key words: reef; sequence stratigraphy; parasequence set; reef-forming model; Changxing Formation; Jiantianba; Lichuan