

文章编号: 1000-0550(2009)01-0009-09

川东北开县满月甘泉剖面长兴组生物丘构成及成丘模式^①

荣 辉¹ 焦养泉^{1,2} 吴立群¹ 李 荣¹ 王 瑞¹ 王世虎¹ 杨 赏¹

(1 中国地质大学资源学院 武汉 430074 2 中国地质大学 构造与油气资源教育部重点实验室 武汉 430074)

摘 要 川东北开县满月甘泉剖面长兴组早期发育两期生物丘, 分别位于两个向上变浅的沉积旋回中上部。通过露头解剖、镜下鉴定和 X 衍射等手段, 对该剖面生物丘构成进行精细研究发现: 第一期生物丘在角砾灰岩的基础上发育, 造丘生物以蓝绿藻为主; 岩性为泥晶灰岩和含云灰岩; 由丘基和丘核构成。第二期生物丘在生物碎屑滩的基础上发育, 造丘生物早期主要为蓝绿藻和粗枝藻, 后期以各类海绵和珊瑚为主; 岩性为泥—微晶灰岩, 局部白云岩化; 发育丘基、丘核和丘顶, 最终向礁骨架演化。在此基础上, 探讨了两期生物丘成丘模式: 前者属于低能生物丘, 形成于台缘前斜坡相带内, 经历了两个演化阶段; 而后者属于高能生物丘, 形成于台地边缘生物礁滩相带内, 经历了四个演化阶段。

关键词 生物丘 成丘模式 长兴组 川东北

第一作者简介 荣辉 男 1984 年出生 硕士研究生 矿产普查与勘探 E-mail ronghui411@163.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

生物丘是在生物类型和结构上有别于生物礁的碳酸盐岩隆之一, 是当前国际上生物礁研究中的热点问题^[1]。同时生物丘起源往往存在不确定性^[2,3], 因而它也是关于生物礁研究领域研究程度最差的领域^[4]。国外早在 20 世纪 80 年代已经有大量关于生物丘沉积环境、内部结构及生物组成等方面的研究报道^[5]。而我国对生物丘研究起步较晚, 不少学者针对国内一些地区不同时代的生物丘也进行过相关方面的研究^[6-11], 为认识生物丘内部结构及形成环境等提供了一定指导。近年来, 由于川东北地区发现了大批晚二叠世长兴组生物礁气藏, 前人对川东北长兴组生物礁进行了大量专题研究^[12-15]; 但是对该区生物丘的深入研究却被忽视。实际上, 生物丘中的微晶丘本身就是可供开采的重要非金属矿产^[16,17], 与多种金属矿产成矿关系密切^[18,19]; 在一定条件下, 它也能构成油气的有利储集体^[5]。因此对生物丘的研究应该引起重视。本文以川东北开县地区满月甘泉剖面长兴组生物丘为例, 讨论生物丘构成特征及成丘模式。

1 地质背景及剖面简介

川东北地区位于四川盆地东北部, 处于米苍山—大巴山造山带的前缘(图 1)。区内晚二叠世早期(龙潭期)为湖坪—泻湖沉积环境, 沉积了一套碎屑岩与碳酸盐岩互层地层, 而晚期为开阔台地沉积环境, 沉

积了长兴组开阔台地相碳酸盐岩, 形成规模巨大的台缘礁滩相组合^[20]。该区长兴组沉积期主要发育有盆地、缓坡、开阔台地及台地边缘礁滩等沉积相单元^[21]。开县满月地区在长兴组沉积期总体上处于台地边缘生物礁滩和缓坡的过渡区(图 1)。

满月甘泉剖面位于开县红花地区满月乡甘泉公路旁, 该剖面出露地层有龙潭组和长兴组, 其中长兴组未见顶, 下部地层出露良好, 由下向上可分为 14 个岩性地层单元(图 1)。依据岩性和生物特征可以划分出三种级别向上变浅的沉积旋回。其中, 高级沉积旋回有 2 个, 即旋回 A 和旋回 B。中级旋回 8 个, 即旋回 A 中的 A-1、A-2 和 A-3, 旋回 B 中的 B-1、B-2、B-3、B-4 和 B-5。在 B-1 中还识别出 3 个低级旋回, 即 B-1a、B-1b 和 B-1c。旋回 A 厚度 90 m, 由中—薄层状泥晶灰岩带(A-1)、角砾灰岩带(A-2)和海绵—蓝绿藻障积岩带(A-3)构成。旋回 B 厚度 44.4 m, 由底部的三个低级旋回中—薄层状泥晶灰岩与生物碎屑灰岩(B-1a、B-1b 和 B-1c), 中部的生物碎屑滩沉积(B-2)和珊瑚(海绵)—藻障积岩带(B-3), 以及顶部的海绵—藻粘结岩带(B-4)和海绵—珊瑚骨架岩带(B-5)构成。生物丘主要发育于两个高级旋回 A 和 B 的中上部, 其中第一期生物丘(A-2 和 A-3)厚 30 m, 规模较大; 第二期生物丘(B-2、B-3 和 B-4)厚 8.2 m, 规模相对较小。

①教育部构造与油气资源重点实验室开放基金项目(批准号: YQ2006KF18)、中国石油化工集团公司项目(编号: 2006026015)及中国石油化工集团公司前瞻性项目专题(编号: 2007026230)联合资助。

收稿日期: 2008-04-17 收修改稿日期: 2008-06-05

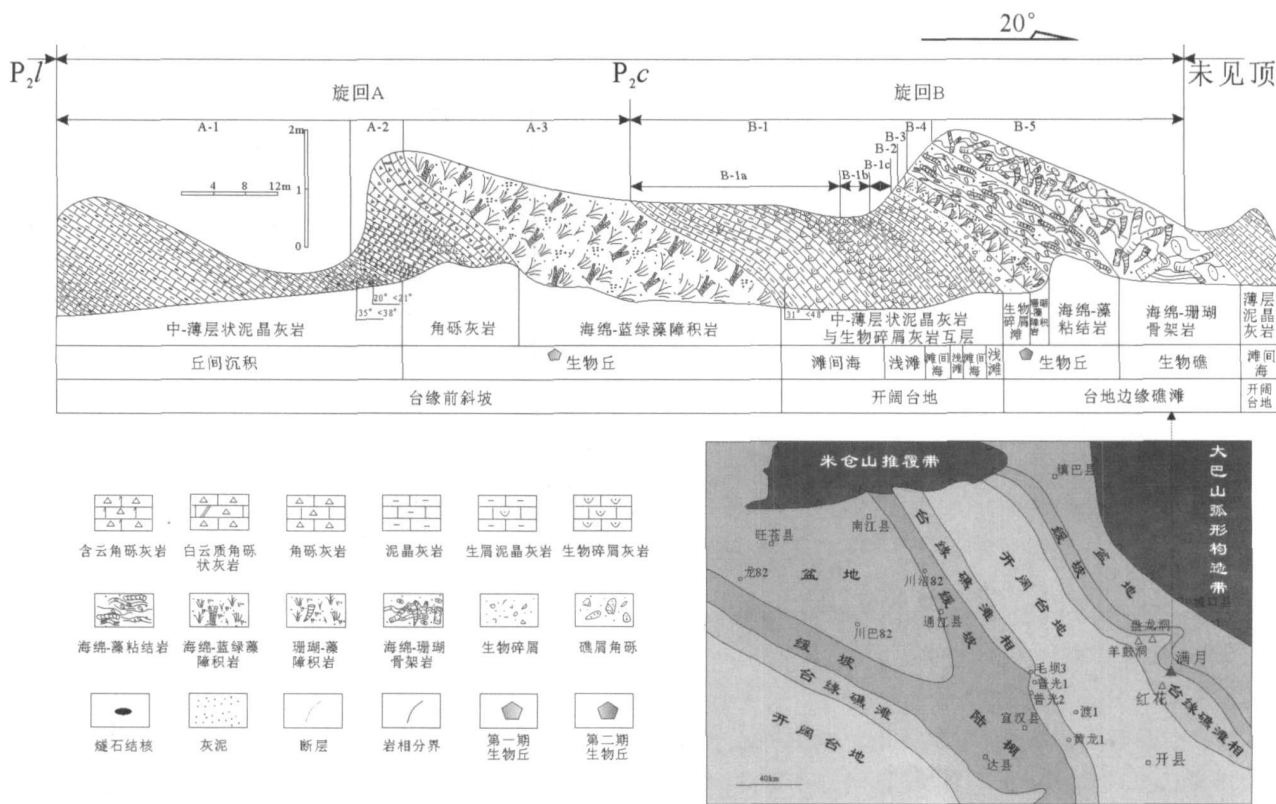


图 1 川东北上二叠统长兴组古地理^[21]及满月甘泉剖面

Fig 1 Paleogeography of the Upper Permian Changxing Formation in the northeastern Sichuan Basin^[21] and the section of Manyue-Ganquan

2 生物丘的构成特征

晚二叠世长兴组沉积早期,满月地区发育两期生物丘。通过对它们生物和岩性构成特征进行深入剖析,不仅能认识和对比它们构成上的差异,且对识别其形成环境有重要意义。

2.1 第一期生物丘构成特征

2.1.1 生物构成特征

参与建造第一期生物丘的生物主要是藻类等生物,其次还包括少量多门类无脊椎动物(图 2)。该期生物丘内部生物含量较低,一般在 25%左右。其中造丘生物主要有蓝绿藻、纤维海绵、串管海绵及少量单体珊瑚等,含量在 20%左右,且以蓝绿藻为主。蓝绿藻属于光养原核生物,部分往往以群体出现,成斑点状排列,它们通过新陈代谢作用和光合作用捕获灰泥而形成泥晶凝块(图 3a);另一部分多呈丝状或不规则纹层状,披覆粘结灰泥、颗粒等,包绕其它造丘生物生长,对生物丘起固定和粘结作用。纤维海绵、串管海绵分布零散,多数无固定生长方向,在地层中杂乱生长(图 3b),仅少数个体较大者垂直层面生长;它们属于海底固着生物,对光线强度、氧气含量和水温

等变化表现出较强的依赖性,可为障积格架形成起稳固支撑作用。附丘生物主要有腹足类、介形虫、海百合和海胆棘刺等,含量一般在 5%左右。其中腹足类和介形虫等形态多保存较为完整,而海百合和海胆棘刺等呈碎片状充填于造丘生物格架间。这些生物不起明显的造架和粘结作用,却为生物丘发育提供了丰富的钙质。

2.1.2 岩性构成特征

第一期生物丘主要由角砾灰岩带和海绵-蓝绿藻障积岩构成(图 2)。角砾灰岩带内部角砾含量一般在 50%~60%,含有少量保存较为完整的腕足类化石(图 3d),角砾之间多为细小颗粒和基质充填,多数角砾呈棱角状一次棱角状,少部分有一定磨圆度,杂乱排列,角砾大小一般在 0.5~15mm,角砾成分主要为泥晶灰岩或生屑灰岩(图 3c,图 3d);其从下往上主要由四个岩性单元构成:(1)浅灰色中厚层状含云角砾灰岩,顶部局部含生物碎屑;(2)浅灰色中厚层状角砾灰岩;(3)浅灰色白云质角砾灰岩,白云石化作用普遍,在角砾之间为亮晶方解石充填,方解石遭受白云岩化作用强;(4)浅灰色中厚层状角砾灰岩。海绵-蓝绿藻障积岩内部灰泥含量可达 60%~

70%, 其下部主要为灰色中厚层状泥晶灰岩, 其中部分重结晶为微晶灰岩; 上部为含云泥晶灰岩, 泥晶基

质局部重结晶强烈, 形成粗粒的方解石, 少数方解石被白云石交代。

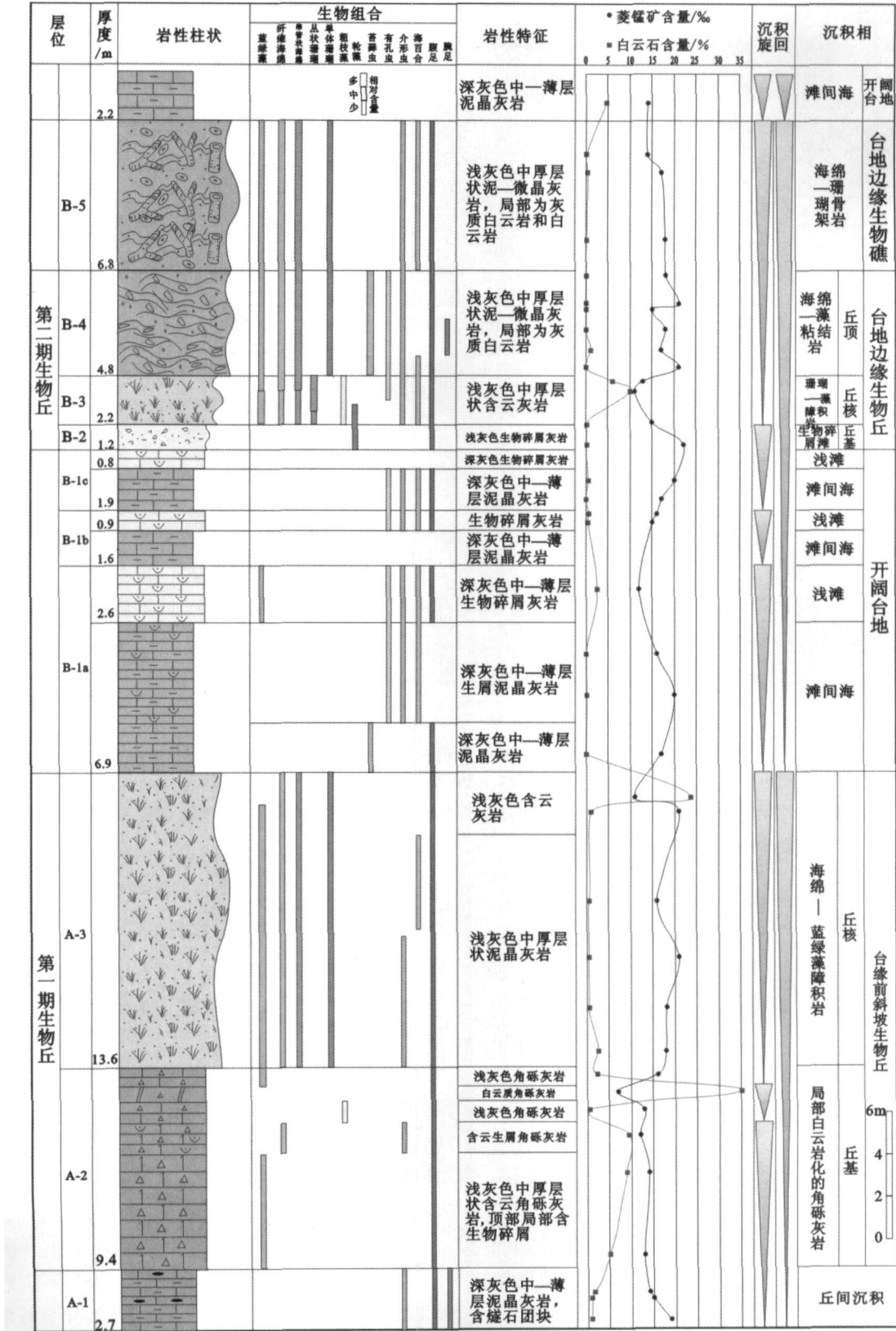


图 2 满月甘泉长兴组生物丘沉积特征 (图例见图 1)

Fig 2 Sedimentary features of bioherms in Changxing Formation Manyue-Ganquan

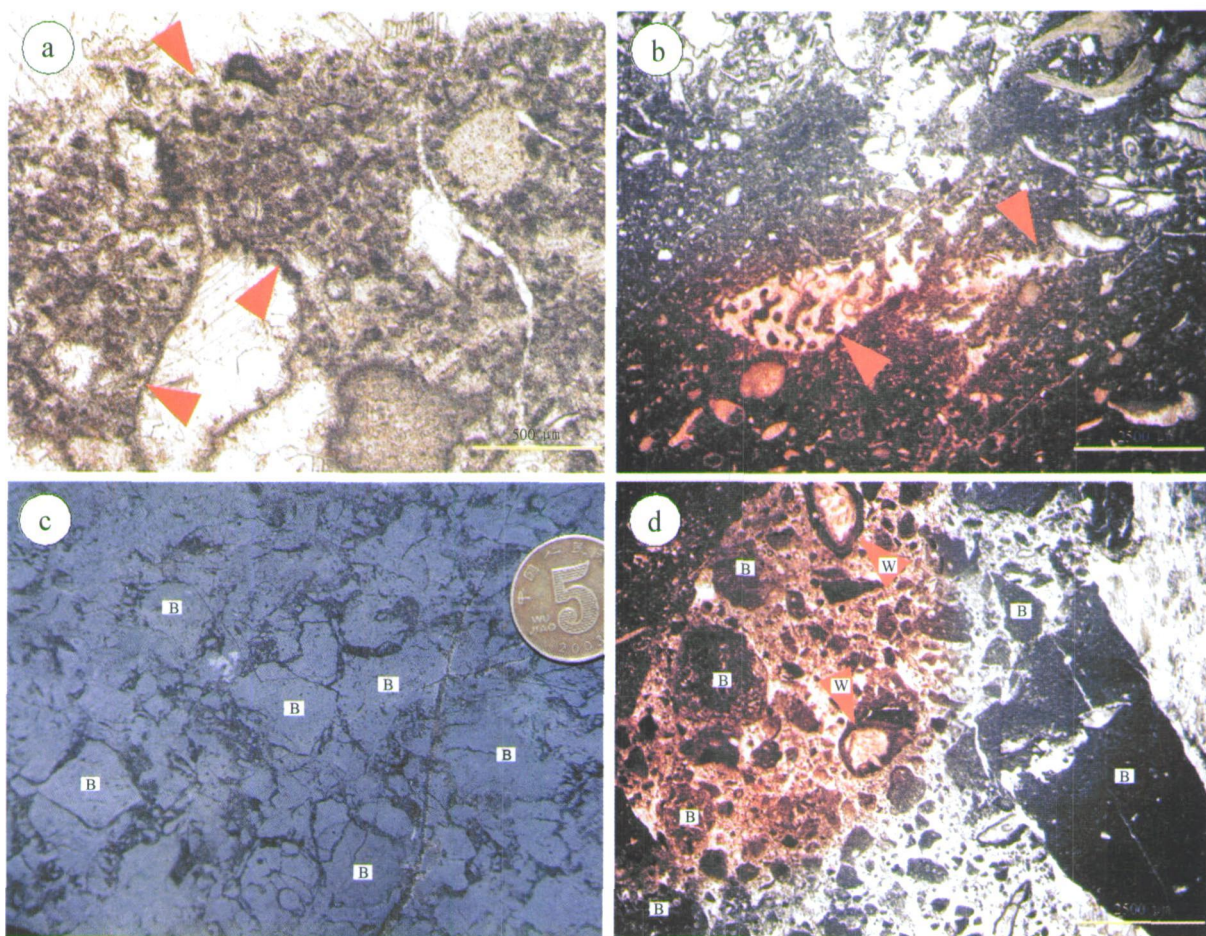


图 3 满月甘泉长兴组第一期生物丘中生物和岩性特征

Fig 3 The biology and lithology in the first phase of bioherm in Changxing Formation, Manyue-Ganquan

a 海绵—蓝绿藻障积岩中蓝绿藻呈黑色斑点状, 单偏光, $\times 5$; b 海绵—蓝绿藻障积岩中纤维海绵, 杂乱生长, 单偏光, $\times 1$; c 白云质角砾灰岩, 角砾(B)间为细小颗粒等填隙物, 露头照片; d 白云质角砾灰岩, 含腕足类化石(W), 角砾(B)间为细小颗粒、泥晶基质及部分重结晶方解石晶体, 单偏光, $\times 1$

总体来看, 第一期生物丘中, 造丘生物含量较低, 且种类比较单一, 以蓝绿藻类等生物为主, 可以认为藻类活动对生物丘的形成起了重要作用。由于角砾灰岩带内角砾岩发育, 角砾在堆积形成时往往是成岩颗粒, 其间填隙物较疏松, 因而它可以在较深水环境中形成砾质底质, 为海绵和珊瑚等固着底栖生物的发育提供条件; 同时其内部藻类等生物发育, 在一定程度上为固着底栖生物提供食物。因此, 在角砾灰岩带内可以形成由藻类、海绵和珊瑚等生物构成的生物群落, 为后期各类生物的大量繁殖而形成生物丘奠定了基础, 所以角砾灰岩带构成了第一期生物丘的丘基部分(图 2)。海绵—蓝绿藻障积岩内部生物障积格架明显, 且集中发育藻类等各类生物, 生物丰度最高, 因而构成了第一期生物丘的丘核部分(图 2)。

2.2 第二期生物丘的构成特征

2.2.1 生物构成特征

参与建造第二期生物丘的生物也主要为藻类和多门类无脊椎动物(图 2)。在障积岩相带内部, 造丘生物主要有蓝绿藻、粗枝藻、纤维海绵、串管海绵和丛状珊瑚等, 含量在 30%左右。它们早期以蓝绿藻和粗枝藻为主; 中晚期以丛状珊瑚为主, 含有纤维海绵和串管海绵等生物。蓝绿藻主要以群体状排列成网格状, 部分呈黑色泥晶斑点状(图 4a); 粗枝藻横切面呈环状, 内部有颗粒充填(图 4b); 丛状珊瑚个体较大, 露头上可以见其近于垂直层面生长, 分枝之间灰泥充填; 串管海绵露头上呈串珠状, 直径一般 1~2 cm, 长 5~6 cm, 横切面上表现为圆形或不规则圆形(图 4c); 纤维海绵多数个体较小, 部分呈枝状, 分枝之间灰泥充填(图 4d)。附丘生物主要有腹足类、有孔虫、介形虫、海百合等, 含量一般在 5%左右, 其中

腹足类、有孔虫和介形虫形态保存较为完整, 而海百合呈碎片状充填于造丘生物格架间。在粘结岩相带内部, 造丘生物主要有串管海绵、苔藓虫、蓝绿藻、纤维海绵和单体珊瑚等, 含量在 30% ~ 40% 之间, 其中以苔藓虫、蓝绿藻和部分串管海绵等生物占主导。蓝绿藻呈丝状披覆粘结颗粒或灰泥; 苔藓虫呈分枝状, 各分枝之间包裹粘结灰泥或颗粒 (图 4e); 串管海绵往往呈串珠状叠置, 内部颗粒或灰泥充填。附丘生物主要有腹足类、腕足类、介形虫、海百合等, 含量一般在 5% 左右。

2.2.2 岩性构成特征

第二期生物丘主要由生物碎屑灰岩、珊瑚(海绵)-藻障积岩和海绵-藻粘结岩构成(图 2)。生物碎屑灰岩, 呈浅灰色, 内部发育大型槽状交错层理, 灰岩内基质重结晶现象普遍。海绵-藻障积岩主要由海绵和藻类等生物捕获灰泥构成, 灰泥含量可达 60% 左右(图 4c 图 4d), 以浅灰色中厚层泥晶灰岩为主, 局部白云岩化, 为含云灰岩。海绵-藻粘结岩主要由海绵和蓝绿藻等生物筑积而成, 灰泥含量较少, 多在 40% 以下(图 4f), 以浅灰色中厚层状泥-微晶灰岩为主, 局部发生白云石化, 内部基质重结晶作用强烈。

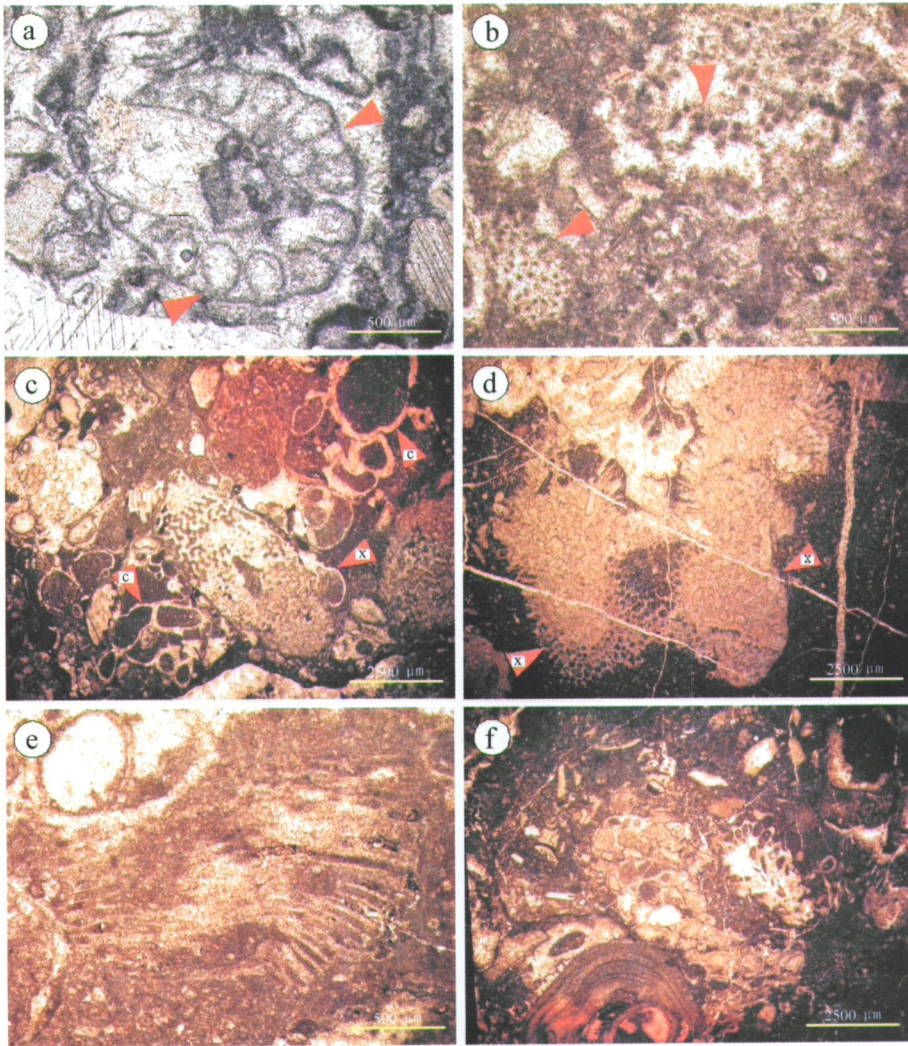


图 4 满月甘泉长兴组第二期生物丘中生物和岩性特征

Fig 4 The biology and lithology in the second phase of bioherm in Changxing Formation, Manyue-Ganquan

a 海绵-藻障积岩中粗枝藻, 横切面呈环状, 内部有颗粒充填, 单偏光, $\times 5$; b 海绵-藻障积岩中蓝绿藻, 群体排列成网格状, 部分呈黑色泥晶斑点状分布, 单偏光, $\times 5$; c. 海绵-藻障积岩中串管海绵(C)和纤维海绵(X) 串管海绵横切面上呈圆形或不规则圆形, 纤维海绵呈短柱状, 单偏光, $\times 1$; d 海绵-藻障积岩中纤维海绵(X) 呈枝状, 分枝之间灰泥充填, 单偏光, $\times 1$; e 海绵-藻粘结岩中苔藓虫, 呈分枝状, 各分枝间包裹灰泥或颗粒, 单偏光, $\times 5$; f 海绵-藻粘结岩, 由蓝绿藻和苔藓虫等披覆粘结灰泥和颗粒等构成, 单偏光, $\times 1$

综上所述,第二期生物丘中,造丘生物含量相对较高,且种类多样性比较明显;除蓝绿藻和粗枝藻等生物外,还有大量串管海绵、纤维海绵、丛状珊瑚、苔藓虫和单体珊瑚等无脊椎动物。生物碎屑灰岩往往是生物碎屑滩的主体构成成分,可以形成良好的砂屑质底质,为海绵和珊瑚等固着底栖生物的发育奠定基础,所以其构成了生物丘的丘基部分(图 2)。珊瑚(海绵)—藻障积岩内部灰泥含量较高,丛状珊瑚和藻类等障积生物发育,构成了生物丘的丘核部分(图 2)。海绵—藻粘结岩内蓝绿藻、苔藓虫及部分串管海绵等生物发育,它们披覆粘结灰泥和颗粒,形成具有一定抗浪性的粘结岩体,构成了生物丘的丘顶部分(图 2)。

2.3 两期生物丘构成特征比较

第一期生物丘在角砾灰岩的基础上发育,以砾质底质为主;造丘生物以蓝绿藻为主,可见少量纤维海绵、串管海绵和单体珊瑚,生物含量较低,种类比较单一。第二期生物丘在生物碎屑滩的基础上发育,以砂屑质底质为主;造丘生物早期以蓝绿藻和粗枝藻等为主,中晚期丛状珊瑚、串管海绵、苔藓虫和纤维海绵等生物开始发育并逐渐占据主导,生物含量相对较高,种类更加丰富;而且它有向生物礁演化的趋势,在其上部的生物礁中,生物种类最为丰富,由大量海绵和单体珊瑚等构成了生物礁骨架(图 2)。同时,第一期生物丘内部相带不完整,发育丘基和丘核,主要岩性为泥晶灰岩或含云灰岩,岩石质地较为均一;而第二期生物丘内部相带完整,发育丘基、丘核和丘顶,在丘顶基础上发育礁骨架岩;其下部主要为灰岩,往上变为含云灰岩,而顶部生物礁骨架岩局部发生白云岩化,总体上岩性变化较大。

3 生物丘成丘模式

第一期生物丘是在角砾灰岩基础上发育的,而角砾灰岩通常被解释为滑塌作用的产物,这说明生物丘发育早期的古地貌具有一定坡度;生物丘内部造丘生物种类单一、灰泥含量较高,抗浪能力较差的藻类障积岩体发育,说明其形成于水动力条件较弱的环境;结合区域沉积背景,推测该期生物丘可能发育于水深相对较大的台缘前斜坡相带内(图 5a)。该期生物丘发育大致经历了两个演化阶段:角砾灰岩底质形成阶段和障积岩发育阶段(图 5a)。早期由于有一定坡度,发生小规模滑塌而产生灰岩角砾堆积体,在台缘前斜坡带内部形成局部地貌高地。灰岩角砾堆积体

沉积序列自下而上白云岩化程度有增强的趋势(图 2),而通常认为白云岩化作用增强与水体变浅有关;同时菱锰矿含量有减小趋势,而其含量减少可能与水体的氧化作用增强有关(图 2),因此可推测此时海平面相对下降;但是由于角砾灰岩内部灰泥含量高,角砾往往悬浮其中,可见水动力条件较弱,所以总体上处于浪基面以下。海平面下降为藻类和海绵等生物生长发育提供光照条件;而一定深度的水体、较弱的水动力条件及角砾灰岩构成的砾质底质也为它们生长发育提供了有利环境,这些都为生物丘的形成奠定了基础(图 5a)。后期由于障积岩体由下往上也表现为白云岩化程度的增强和菱锰矿含量的减小(图 2),可推测海平面持续下降;这时当光照和养料充足时,会导致藻类和海绵等各种生物快速繁殖,但是由于水体深度及底质等条件的限制,造成了以藻类及浮游生物为食的海绵和珊瑚等固着底栖生物相对不发育,而蓝绿藻等生物却占据了优势;大量生物对就地或来自缓坡上部的灰泥产生捕积和障积作用,加速了生物丘的生长,形成了以海绵—蓝绿藻障积岩为主的岩石类型(图 5a)。由于生物丘顶部覆盖泥晶灰岩,生物含量大大减少(图 2),推测此时海平面快速上升,造丘生物生存的环境遭到破坏,生物丘发育停止。

第二期生物丘以生物碎屑滩为基础,形成具备较强抗浪能力的粘结岩体,可见其形成于水动力条件较强的环境;丘体内部生物种类丰富,丘体顶部发育礁骨架岩;结合区域沉积背景,可以推测该期生物丘发育于水体相对较浅的台地边缘礁滩相带内(图 5b)。其演化大致经历了四个阶段:生物碎屑滩底质形成阶段、障积岩发育阶段、粘结岩发育阶段和礁骨架岩转化阶段(图 5b)。早期满月地区由泥晶灰岩沉积转化为以发育大型槽状交错层理的生物碎屑滩沉积(图 2),推测此时水体能量变强,海平面下降,该区整体上处于水体相对较浅的高能环境;适宜的光照和水动力环境为滩内部藻类等生物发育创造了条件(图 5b)。当海平面开始缓慢上升时,生物碎屑滩受海水和波浪的改造作用减小,这在水深、水能、光照、地貌等方面,形成适合藻类等生物生存的环境,它们开始大量繁殖;随后海平面缓慢下降,海水能量逐步增强,丛状珊瑚和海绵等生物也开始快速繁殖,并占主导,生物的多样性明显增加,这些生物对就地或搬运来的灰泥产生捕积和障积作用,加速了丘的生长,形成了海绵(珊瑚)—藻障积岩,致使其内部生物早期以藻类等生物为主,而后期以丛状珊瑚和海绵等底栖生物

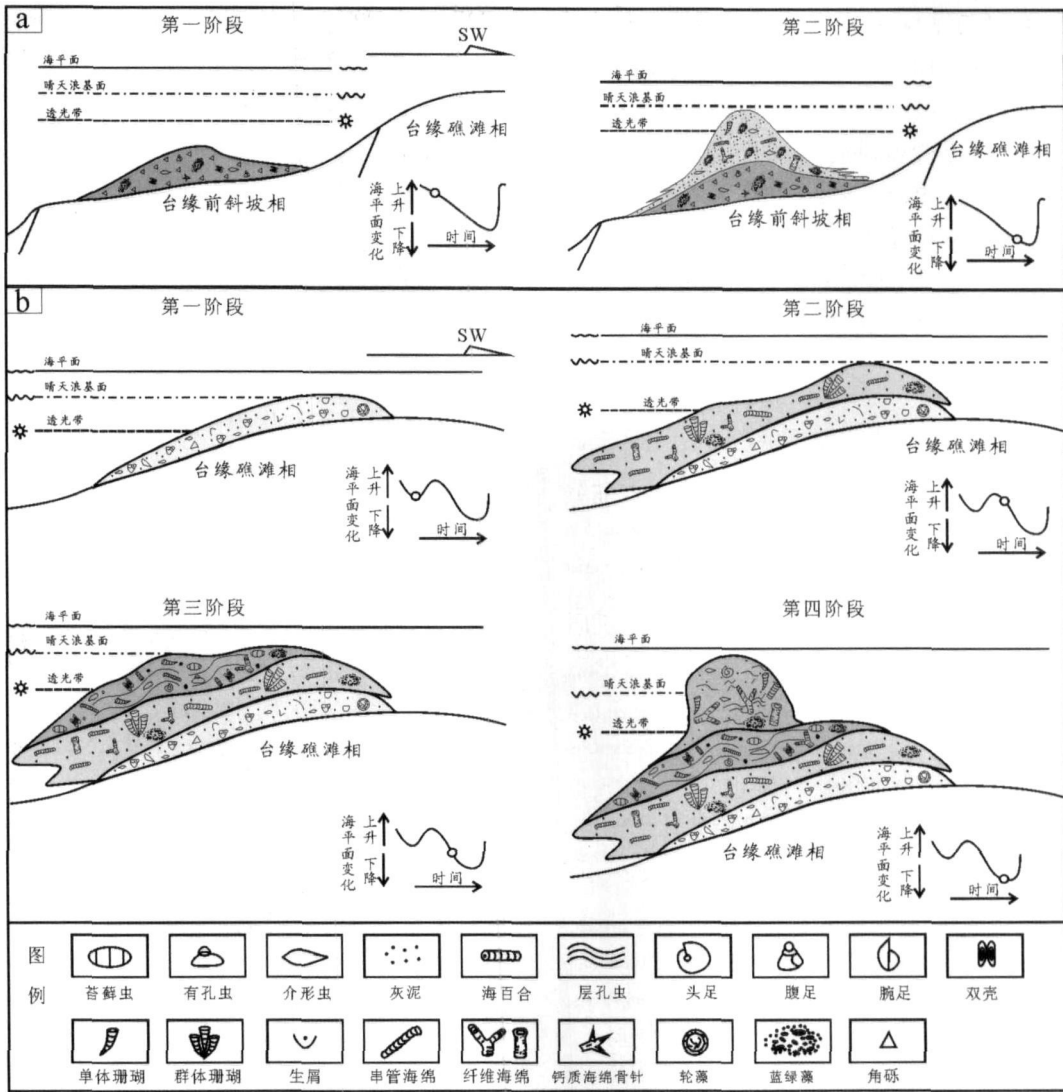


图 5 满月甘泉长兴组生物丘成丘模式图

a 第一期生物丘成丘模式; b 第二期生物丘成丘模式

Fig 5 Development model of bioherms in Changxing Formation, Manyue-Ganquan

为主 (图 5b)。随海平面的进一步下降,海水动荡加强,在障积岩上部,生物丰度和种类增加,部分串管海绵、苔藓虫和藻类等粘结生物披覆、粘结缠绕其它生物或碎屑、砂屑及泥晶基质,抗浪性逐步增强,形成海绵—藻粘结岩 (图 5b)。海平面持续下降,在海绵—藻粘结岩的基础之上,串管海绵、纤维海绵和单体珊瑚等生物进一步繁盛,形成抗浪能力更强的生物礁骨架 (图 5b)。这时生物丘已经向生物礁演化。生物礁顶部覆盖泥晶灰岩 (图 2),推测此时海平面快速上升,致使造礁生物生存的环境遭到破坏,生物礁发育停止。

4 结论和认识

通过对川东北开县地区满月甘泉剖面生物丘构

成及成丘模式研究得出以下认识:

- (1) 第一期生物丘在角砾灰岩的基础上发育,造丘生物以蓝绿藻为主,含有纤维海绵、串管海绵和少量单体珊瑚等,生物含量较低,且种类比较单一;丘体岩性主要为泥晶灰岩和含云灰岩,岩石质地较为均一。
- (2) 第二期生物丘在生物碎屑滩的基础上发育,造丘生物早期以蓝绿藻和粗枝藻为主,中后期丛状珊瑚、串管海绵、苔藓虫和纤维海绵等生物逐步发育并占据主导,生物含量相对较高,且种类比较丰富;丘体岩性变化较大,以泥—微晶灰岩为主,局部发生白云岩化。
- (3) 第一期生物丘属于低能生物丘,形成于台缘

前斜坡相带内,经历了两个演化阶段,内部相带不完整,发育丘基和丘核;而第二期生物丘属于高能生物丘,形成于台地边缘生物礁滩相带内,经历了四个演化阶段,发育丘基、丘核和丘顶,并向礁骨架演化。

致谢 中国地质大学(武汉)颜佳新教授和王永标教授为本研究部分生物鉴定做了指导,并为文章的修改和完善提供了宝贵意见;两位匿名评审专家提出了很多需要深入研究的问题及修改意见。在此一并致谢。

参考文献 (References)

- 钟建华,温志峰,李勇,等. 生物礁的研究现状与发展趋势 [J]. 地质论评, 2005 51(3): 288-300 [Zhong Jianhua Wen Zhifeng Li Yong et al Organic reefs study concept classification characteristics history and development [J]. Geological Review 2005 51(3): 288-300]
- Bridges P H Gutteridge P Pickard N A H. The environmental setting of Early Carboniferous mudmounds [J] // Monty C L V Bosence D W J Bridges P H et al Carbonate Mud Mounds Special Publication International Association of Sedimentologists 1995 23: 171-190
- Haywich D W Kpaska-Merkel D C Carbonate mounds sedimentation organismal response and diagenesis [J]. Sedimentary Geology 2004 145(3/4): 157-414
- Flügel E 碳酸盐岩微相—分析、解释及应用 [M]. 马永生, 主译. 北京: 地质出版社, 2006 797-812 [Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks—Analysis Interpretation and Application [M]. Ma Yongsheng translated Beijing Geological Publishing House 2006 797-812]
- 杨晓萍, 张宝民, 柳少波. 四川盆地南部志留系碳酸盐灰泥丘成因与储集性 [J]. 海相油气地质, 2002 7(4): 26-32 [Yang Xiaoping Zhang Baming Liu Shaobo Origin and reservoir property of Silurian carbonate mud mound in southern Sichuan Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology 2002 7(4): 26-32]
- 张维, 廖卓庭. 天山东部晚石炭世碳酸盐岩隆岩石学与成岩作用 [J]. 岩石学报, 1998 14(4): 559-567 [Zhangwei Liao Zhuoting Petrology and diagenesis of Late Carboniferous carbonate buildups in eastern Tianshan Mountains China [J]. Acta Petrologica Sinica 1998 14(4): 559-567]
- 吴光红, 张宝民, 边立曾, 等. 塔中地区中晚奥陶世灰泥丘初步研究 [J]. 沉积学报, 1999 17(2): 198-203 [Wu Guanghong Zhang Baming Bian Lizeng et al Preliminary study of carbonate mudmounds Middle-Late Ordovician Tazhong area [J]. Acta Sedimentologica Sinica 1999 17(2): 198-203]
- 李光 吴庆波. 湘西北早奥陶世南津关组生物丘(礁)及其形成环境 [J]. 地层学杂志, 2001 25(1): 48-50 [Li Guang Wu Qingbo The Early Ordovician (Nanjinguan period) bioherms of northwestern Hunan and its forming environment [J]. Journal of Stratigraphy 2001 25(1): 48-50]
- 杨万容, 杨长庚, 李迅, 等. 浙江桐庐二叠纪海绵生物丘的沉积环境和成岩环境 [J]. 地层学杂志, 1995 19(3): 191-198 [Yang Wanrong Yang Changgeng Li Xun et al The sedimentary and diagenesis environments of Permian sponge mound in Tonglu Zhejiang [J]. Journal of Stratigraphy 1995 19(3): 191-198]
- 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): 243-247 [Zhang Yanshan Shen Zhaoquo Lan Guangzhi et al Microbial fossils and their biosedimentation & buildup in Paleozoic mud mounds Sichuan Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2002 20(2): 229-237]
- 彭阳, 郭宪璞, 王易农, 等. 塔里木盆地西南地区上白垩统生物丘 [J]. 地质通报, 2002 21(2): 83-87 [Peng Yang Guo Xianpu Wang Yinnong et al Upper Cretaceous rudist bioherms in the south-western Tarim Basin [J]. Geological Bulletin of China 2002 21(2): 83-87]
- 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]
- 王一刚, 张静, 杨雨, 等. 四川盆地东部上二叠统长兴组生物礁气藏形成机理 [J]. 海相油气地质, 2000 5(1-2): 145-152 [Wang Yigang Zhang Jing Yang Yu et al Forming mechanism on the Upper Permian organic reefal gas pool in the northeastern part of the Sichuan Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology 2000 5(1-2): 145-152]
- 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]
- 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 Qin Yin 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]
- 季强, 章雨旭. 从层序地层学研究试论华北地区寒武系与奥陶系分界 [J]. 地质论评, 1997 43(3): 241-248 [Ji Qiang Zhang Yuxu A discussion on the Cambrian-Ordovician boundary in North China plate in the light of sequence stratigraphy [J]. Geological Review 1997 43(3): 241-248]
- 彭阳, 季强, 章雨旭, 等. 北京西山及邻区寒武系顶部微晶丘特征及层序地层学意义 [J]. 地质论评, 1998 44(1): 35-43 [Peng Yang Ji Qiang Zhang Yuxu et al The characteristics and sequence stratigraphic significance of the micrite mound at the top of Cambrian in Western Hills Beijing and neighboring area [J]. Geological Review 1998 44(1): 35-43]
- 刘宝珺, 王剑. 一个与生物丘有关的成岩成矿模式 [J]. 四川地质学报, 1989 9(1): 39-44 [Liu Baojun Wang Jian A model of petrogenesis and metallogenesis related with bioherms [J]. Acta Geologica Sichuan 1989 9(1): 39-44]
- 孟祥化, 葛铭, 著. 内源盆地沉积研究 [M]. 北京: 石油工业出版社

- 社, 1993: 129-132, 232-234 [Meng Xianghua, Ge Ming. Study of Sedimentary on Intra-basin]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 129-132, 232-234]
- 20 Ma Y S, Guo X S, Guo T L, et al. The Puguang gas field: New giant discovery in the mature Sichuan Basin, southwest China [J]. AAPG Bulletin, 2007a, 91(5): 627-643
- 21 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, 2007b, 14(1): 182-192 [Ma Yongsheng, Mou Chuanlong, Tan Qinyin, et al. Reef bank features of Permian Changxing Formation and Triassic Feixianguan Formation in the Daxian-Xuanhan Area, Sichuan Province, South China and constraint for the reservoirs of natural gas [J]. Earth Science Frontiers, 2007b, 14(1): 182-192]

Organic Bioherms and Their Forming Models of Changxing Formation in Manyue-Ganquan Section of Kaixian, Northeast Sichuan

RONG Hui¹ JIAO Yang-quan^{1, 2} WU Li-qun¹ LI Rong¹
WANG Rui¹ WANG Shi-hu¹ YANG Shang¹

(1 Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, 430074)

2 Key Laboratory of Technique and Petroleum Resources of University of Education, China University of Geosciences, Wuhan, 430074)

Abstract Two phases of bioherms are respectively developed in the middle-upper of two descending cycles in the forepart of Changxing Formation in Manyue-Ganquan section of Kaixian, northeastern Sichuan. By the outcrop surveying, observation by microscope and diffraction of X-ray, the composition of bioherms is researched in detail. It is found that the first phase of bioherm, in which the bioherm-building organisms are dominated by cyanobacteria and the lithology includes micrites and dolomitised limestone, is composed of bioherm-bottom and bioherm-core. The second phase of bioherm, in which the bioherm-building organisms are dominated by algae primarily and types of sponges and corals later and the lithology includes micrites with partly dolomitisation, is composed of bioherm-bottom, bioherm-core and bioherm-top and turns to reef finally. Based on that, the bioherm-forming models of two bioherms are discussed: the former, which develops on the platform margin shoal-slope, is low energy bioherm and has two phases of evolution, while the latter, which develops on the platform margin shoal and reef, is high energy bioherm and has four phases of evolution.

Key words bioherm; bioherm-forming model; Changxing Formation; Northeast Sichuan