

Fine Geological Study about Inner Platform Reef and Shoal Profile of Changxing Formation in Jianshuigou, Tianchi of Huaying

Zan Li¹, Zhonggui Hu^{1*}, Qilu Wang¹, Yan Shi², Enda Zhang¹, Gang Tang¹

¹School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan Hubei

²Geological Scientific Research Institute of Jiangsu Oilfield Branch, Yangzhou Jiangsu

Email: cdut1978127@sohu.com

Received: Apr. 9th, 2015; accepted: Apr. 24th, 2015; published: Apr. 30th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Reefs and shoals are favorable sedimentary facies about carbonate rock oil and gas exploration. Clarifying the distribution and evolution of inner platform reef and shoal facies is important to oil and gas exploration in inner platform of eastern Sichuan. Through fine realistic and detailed study of Jianshuigou reef profile of Changxing Formation in Tianchi of Huaying, Guangan, this paper in depth researches the internal composition of reef, depicts the internal structure and the formation patterns of the reef, and points out the distribution of favorable reservoir inside the reef. Three growth cycles of reef have been identified, which is made up of reef base and reef core. The growth cycle of reef was consisted by reef base and reef core, among them grain shoal constitutes the reef base and skeleton reef or barrier reef constitutes the reef core. Three reef cycles were identified in the profile, which correspond to the three upward shallowing parasequence sets, and overall constitute accretion - into product type reef. The second reef cycle is the most developed. Complexes dolomitization is strong in the growth cycle phases of the top reef, and is good for the formation of reservoir.

Keywords

East Sichuan Basin, Section of Jianshuigou, Changxing Formation, Inner Platform Reef and Shoal

华蓥天池涧水沟剖面长兴组台内礁滩剖面 精细地质研究

*通讯作者。

李 赞¹, 胡忠贵^{1*}, 王齐禄¹, 施 琰², 张恩达¹, 唐 刚¹

¹长江大学地球科学学院, 湖北 武汉

²江苏油田分公司地质科学研究院, 江苏 扬州

Email: cdut1978127@sohu.com

收稿日期: 2015年4月9日; 录用日期: 2015年4月24日; 发布日期: 2015年4月30日

摘 要

礁滩相带是碳酸盐岩油气勘探的有利沉积相带, 弄清台内礁滩相带的分布和演化规律, 对川东地区台地内部油气勘探具有重要的意义。通过对广安华蓥天池涧水沟长兴生物礁进行剖面精细写实和详细研究, 对其生物礁内部构成特征进行深入研究, 精细刻画出礁滩内部构成和形成模式, 指出礁体内部有利储层的分布规律。剖面上识别出三期生物礁生长旋回, 均由粒屑滩沉积的礁基和障积礁或骨架礁组成的礁核构成, 分别对应于三个向上变浅的准层序组, 总体构成加积-进积型生物礁; 其中第二期生物礁最为发育。各期生物礁生长旋回顶部的礁滩复合体白云石化强烈, 有利于储层形成。

关键词

川东地区, 涧水沟剖面, 长兴组, 台内礁滩

1. 引言

近年来, 川东及川东北地区发现了大量生物礁、滩气藏, 特别是以普光、龙岗、元坝等为代表的一系列以长兴组礁滩相地层为储层的大、中型气田的发现, 是中国南方海相碳酸盐岩油气勘探的重大突破, 生物礁作为油气储集体也越来越受到人们的关注。川东地区长兴组主要为碳酸盐岩台地沉积, 礁滩体主要发育于台地边缘和台内高点。该区野外出露较好的生物礁、滩剖面已经发现了盘龙洞、羊鼓洞、红花、涧水沟和老龙洞等众多剖面点, 为长兴组礁滩的实地考察和礁滩储层研究提供了丰富素材。国内外目前对台缘礁滩储层的研究已经较为精细和成熟[1]-[3], 而台内礁滩一般不如台缘礁滩油气储集岩发育良好, 分布零散, 但台内沉积区的面积远较台缘区大, 使其油气储集能力不可被轻视。台内礁滩地形情况复杂, 控制因素多样, 使得目前对台内礁滩相的研究较少[4]。本文拟以川东地区典型台内礁滩剖面为例, 精细解剖台内礁滩结构及沉积特征, 为进一步开展井下台内礁滩储层研究提供参考。

2. 区域沉积背景及剖面概况

长兴沉积期, 四川盆地东部至中部地区主要以碳酸盐岩台地沉积为主。根据台内已知礁滩体分布与沉积相分析[5]-[7], 认为在晚二叠世拉张背景下, 台地内部也出现拉张拗陷, 并提出在四川盆地中部地区存在两个适合礁滩发育的地貌高带: 遂宁台内地貌高带和广安台内地貌高带, 并认为台内高带之间可能为地貌上低洼的地区——蓬溪-武胜台凹, 延伸至方斗山构造带南段。根据沉积地貌特征将川东地区开阔台地又划分为三个沉积地貌单元, 即相对平坦水浅的台坪区、相对低凹水深的台凹区及二者之间的台坪边缘区(即台内地貌高带), 礁滩具有沿台坪边缘带发育的规律[8]。华蓥涧水沟剖面位于台地内部地貌高带, 发育以台内礁滩为主的储层类型(图 1)。

华蓥天池涧水沟剖面地理位置处于广安市华蓥山旅游区东北部, 交通比较便利。剖面长兴组地层发育完整, 顶、底界线清楚, 易于观测, 与下伏龙潭组和上覆下三叠统飞仙关组均为整合接触, 长兴组剖

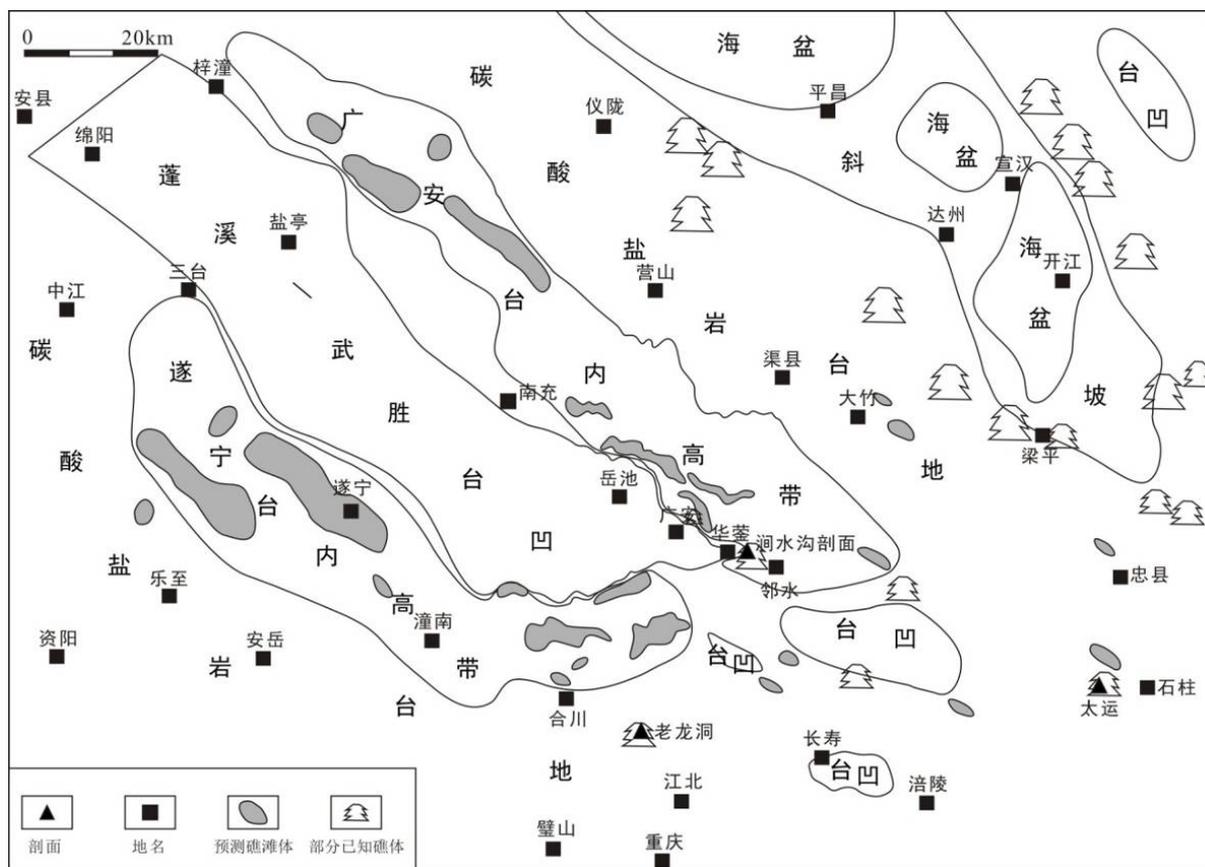


Figure 1. Profile location and regional lithofacies paleogeography background

图 1. 剖面位置及区域岩相古地理背景

面厚 130.6 m。长兴组可以划分为三段：一段为深灰色(含生物屑)泥 - 粉晶灰岩夹燧石结核灰岩，主要为低能沉积；二段以浅灰色生物礁灰岩、生物屑灰岩为主，局部白云石化形成良好储集岩，为主要储层发育段；三段礁滩相灰岩相对二段发育厚度要小，次要储层发育段(图 2)。

3. 沉积相及层序地层特征

通过对该剖面长兴组岩石学、古生物特征及区域沉积背景分析，长兴组早期，海平面迅速上升，发生海侵，该时期还未形成台地，表现为缓坡沉积模式[9]，以含生物屑泥晶灰岩、燧石结核灰岩或含硅灰岩等低能沉积为主。长兴组中 - 晚期，水体开始变浅，区域上转为开阔台地沉积，台内礁滩较为发育。开阔台地相进一步细分为台内礁、台内滩、潮下亚相，台内礁滩主要以浅灰色礁灰岩、生屑灰岩及颗粒云岩组成；潮下亚相以含生屑泥晶灰岩、泥晶灰岩等相对低能沉积为主(图 2)。

根据该剖面层序界面识别及区域层序地层分析[9]，将长兴组划分为 2 个三级层序(Sq1、Sq2)。Sq1 底界面为上二叠统龙潭组与长兴组界面，二者之间为岩性一岩相转换界面，界面之下为龙潭组煤系地层，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。Sq2 底界面位于长兴组内部，界面之下为一套浅灰色块状礁云岩，界面之上为浅灰色生屑灰质云岩，界面附近发育局部暴露溶蚀作用标志。长兴组台内礁沉积主要分布于三级层序高位体系域，尤以 Sq1-HST 最为发育。精细层序地层划分表明，Sq1 由 1~7 层组成，进一步细分为 3 个四级层序：sq1、sq2 和 sq3；Sq2 细分为 2 个四级层序：sq4 和 sq5 (图 2)。

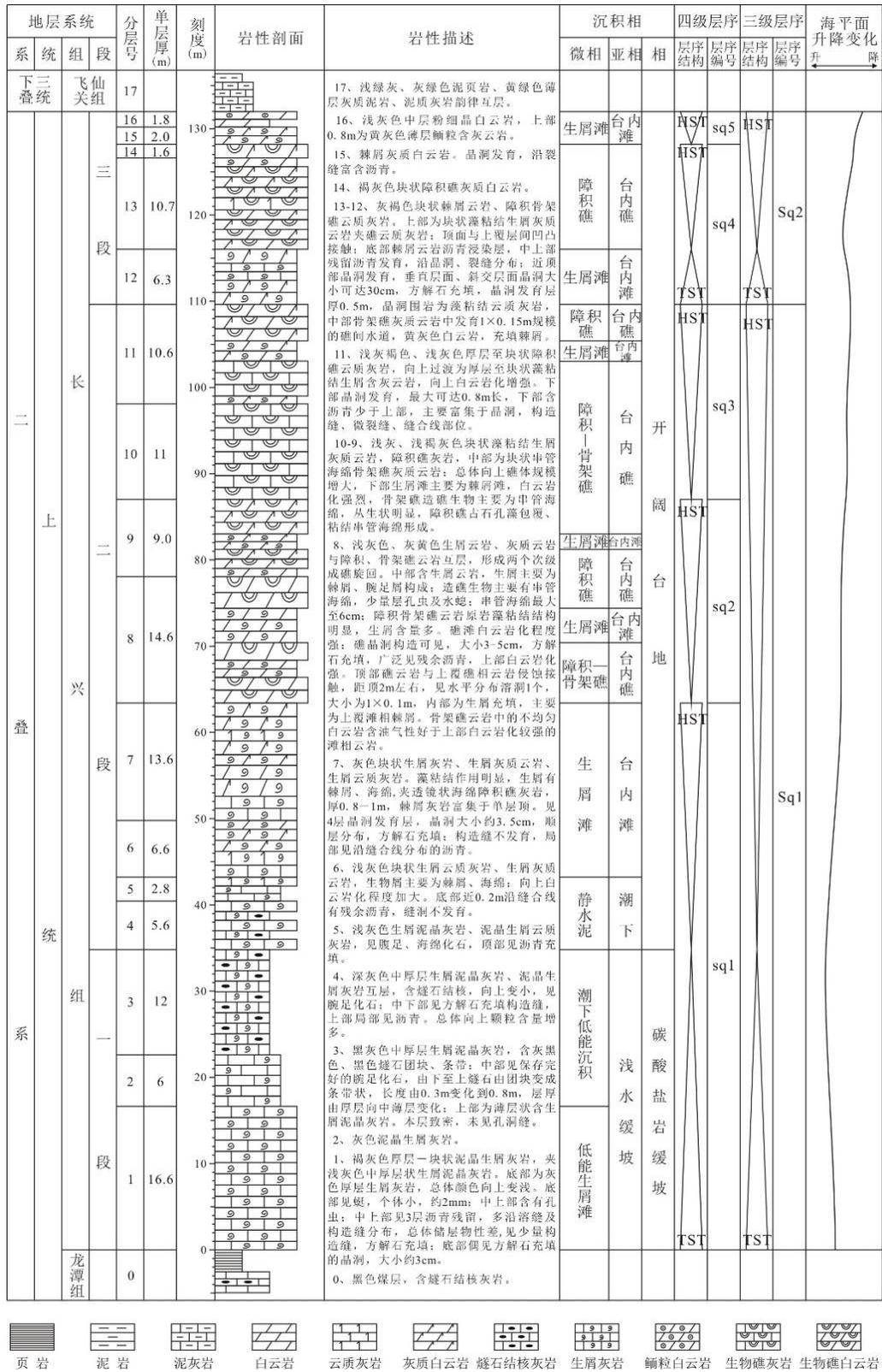


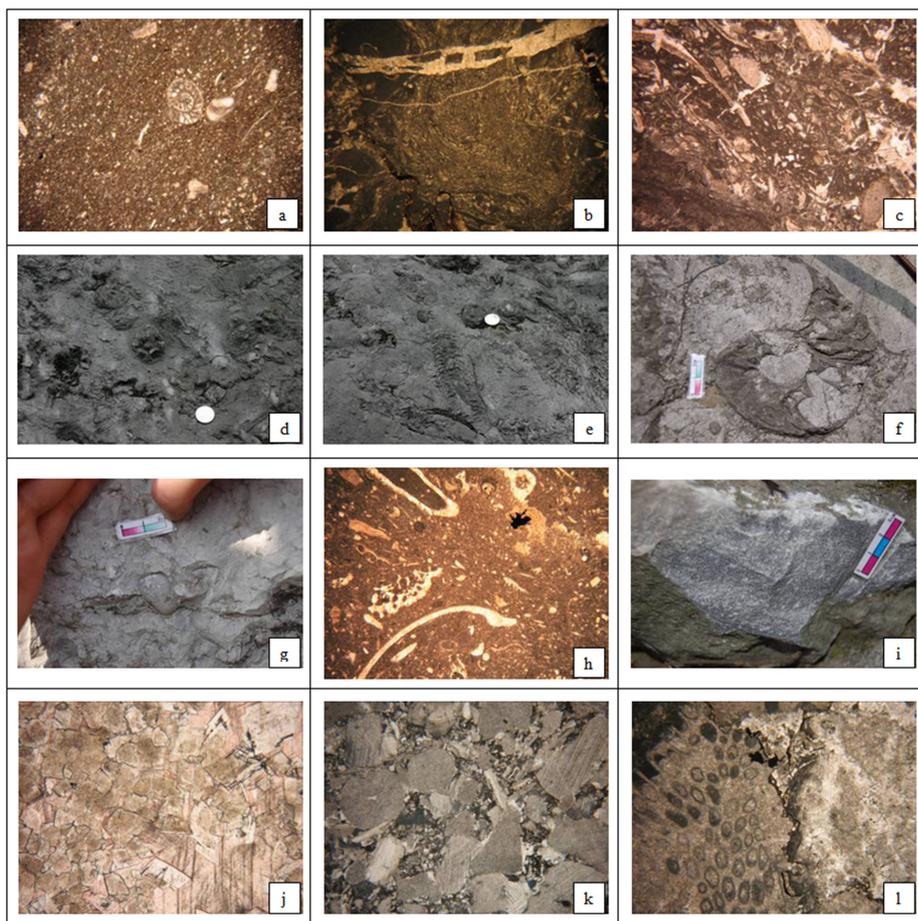
Figure 2. Sedimentary facies and sequence stratigraphy columnar section of Changxing Formation in Jianshuigou, Tianchi of Huaying
图 2. 华蓥天池涧水沟长兴组沉积相和层序地层柱状剖面图

4. 生物礁滩内部构成特征

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。

4.1. 四级层序 sq1 礁滩构成

sq1 由 1~7 层组成, sq1-TST 由缓坡低能沉积构成, 代表水体较深环境, 向上颜色变深, 下部为褐灰色含生屑泥晶灰岩, 上部变为灰色、深灰色含生屑、含燧石结核泥晶灰岩, 代表水体向上加深。sq1-HST 自下而上依次由开阔台地潮下中 - 厚层低能、深灰色生屑泥晶灰岩沉积(图 3(a), 图 3(b))——台内生屑滩块状、高能浅灰色生物屑灰岩组成, 向上生物碎屑含量增加、白云石化作用增强, 发育有孔虫、藻屑、腕足、棘皮、海绵碎屑等(图 3(c)), 反映向上水体变浅。该套沉积主要在高位体系域发育台内生屑滩沉积,



(a) 残余生物屑泥晶白云岩, 5 层, 对角线长度 0.32 mm (-); (b) 含生物屑藻屑泥晶灰岩, 5 层, 对角线长度 0.8 mm (-); (c) 泥-亮晶生物屑灰岩, 6 层, 对角线长度 0.8 mm (-); (d) 浅灰色海绵礁灰岩, 串管海绵为主, 含量 30% 左右, 10 层; (e) 浅灰色海绵礁灰岩, 骨架支撑状, 骨架孔洞发育, 10 层; (f) 附礁生物-菊石, 10 层; (g) 附礁生物-腕足, 11 层; (h) 生物碎屑海绵泥晶灰岩, 11 层, 对角线长度 0.8 mm (-); (i) 灰褐色溶孔棘屑云岩, 沥青充填溶孔, 12 层; (j) 残余生物碎屑粉-细晶含灰白云岩, 12 层, 对角线长度 0.32 mm (-); (k) 泥-亮晶海百合白云岩, 15 层, 对角线长度 0.8 mm (-); (l) 碎裂状泥晶生物碎屑海绵云质灰岩, 16 层, 对角线长度 0.8 mm (-)

Figure 3. Typical deposition phenomenon about inner platform reef and shoal of Changxing Formation in Jianshuigou profile

图 3. 涧水沟长兴组剖面台内礁滩典型沉积现象

构成了上覆生物礁沉积基底。

4.2. 四级层序 sq2 礁滩构成

sq2 由 8 层和 9 层组成, 沉积礁滩复合体, 由 2~3 期台内礁 - 礁顶台内滩沉积构成, 白云石化作用普遍。主要为浅灰色障积 - 骨架礁云岩与生屑云岩互层, 造礁生物主要有串管海绵, 少量苔藓虫及水螅, 串管海绵最大至 6 cm, 障积骨架礁云岩原岩藻粘结结构明显, 生屑含量多。生屑主要为棘屑、腕足构成, 礁滩白云岩化程度强; 礁晶洞构造可见, 大小 3~5 cm, 方解石充填, 广泛见残余沥青, 上部白云岩化强。骨架礁云岩中的不均匀白云岩含油气性好于上部白云岩化较强的滩相云岩。总体该套台内礁滩沉积向上规模增大, 白云石化作用增强, 反映了水动力条件逐渐变强和水体逐渐变浅, 生物礁逐渐繁盛特征。

4.3. 四级层序 sq3 礁滩构成

sq3 由 10 层和 11 层组成。自下而上依次发育台内障积 - 骨架礁 - 台内生屑滩 - 台内障积礁沉积, 向上白云石化作用增强, 反映沉积水体变浅特征。下部的障积-骨架礁灰岩, 以块状串管海绵礁体为主, 总体向上礁体规模增大, 骨架礁造礁生物主要为串管海绵, 丛生状明显, 障积礁古石孔藻包覆、粘结串管海绵形成(图 3(d), 图 3(e)), 附礁生物可见有孔虫、腕足、菊石等(图 3(f)~图 3(h))。上部为浅灰褐色厚层至块状藻粘结生屑含灰云岩, 向上白云岩化增强, 下部晶洞发育, 晶洞最大可达 0.8 m, 下部含沥青少于上部, 主要富集于晶洞, 构造缝、微裂缝、缝合线部位。

4.4. 四级层序 sq4 礁滩构成

sq4 由 12~14 层组成, TST 为台内滩生屑灰岩构成, HST 为云化强烈的障积礁灰岩。12~13 层下部为灰褐色块状棘屑云岩、障积骨架礁云质灰岩; 中部为块状藻粘结生屑灰质云岩夹礁云质灰岩; 顶部与上覆层间凹凸接触; 底部棘屑云岩沥青浸染层(图 3(i), 图 3(j)), 中上部残留沥青发育, 沿晶洞、裂缝分布; 近顶部晶洞发育, 垂直层面、斜交层面晶洞大小可达 30 cm, 方解石充填, 晶洞发育层厚 0.5 m, 晶洞围岩为藻粘结云质灰岩, 中部骨架礁灰质云岩中发育 1 × 0.15 m 规模的礁间水道, 黄灰色白云岩, 充填棘屑。14 层为褐灰色块状障积礁灰质白云岩。总体上该层序内水体较浅, 自下而上表现为 TST 的台内生屑滩 - HST 的台内生物礁沉积特征, 向上储层物性变好。

4.5. 四级层序 sq5 内部构成

sq5 由 15~16 层组成, 为暴露生屑滩的云化生屑灰岩、鲕粒灰岩, 顶部淡水溶蚀作用强烈。下部棘屑灰质白云岩中晶洞发育, 沿裂缝富含沥青; 上部为浅灰色中层粉细晶白云岩, 上部 0.8 m 为黄灰色薄层鲕粒含灰云岩。该层序以云化台内颗粒滩沉积为主, 构成了下伏台内礁的礁顶沉积。

5. 台内礁滩发育模式

晚二叠世长兴早期, 天池洞水沟剖面所处地区为一套碳酸盐岩斜坡沉积, 随着相对海平面不断下降, 该区形成了一套规模较大的加积 - 进积型台内生物礁组合。根据生物礁岩石特征、生物组合及沉积环境演化特征, 长兴组的台内生物礁下伏碳酸盐岩斜坡低能沉积(图 4), 剖面上识别出三期生物礁, 发育于长兴组两个层序高位体系域即三级相对海平面下降期间, 总体上形成加积 - 进积型生物礁组合。生物礁均依托一定的基底生长, 在野外剖面上礁基和礁核比较明显的标志之一, 即是礁基一般为呈层状的生屑滩, 而礁核呈块状。第一期生物礁不太发育(8 层和 9 层构成), 为造礁生物初期繁殖阶段, 常以礁滩体互层出现形成礁滩复合体, 白云石化作用强烈, 该套礁滩体发育于由 6~7 层生屑滩组成的礁基之上, 生屑滩的大量发育形成沉积水体较浅的沉积背景, 继而在此基础上形成生物礁发育规模不大的礁滩复合沉积。第

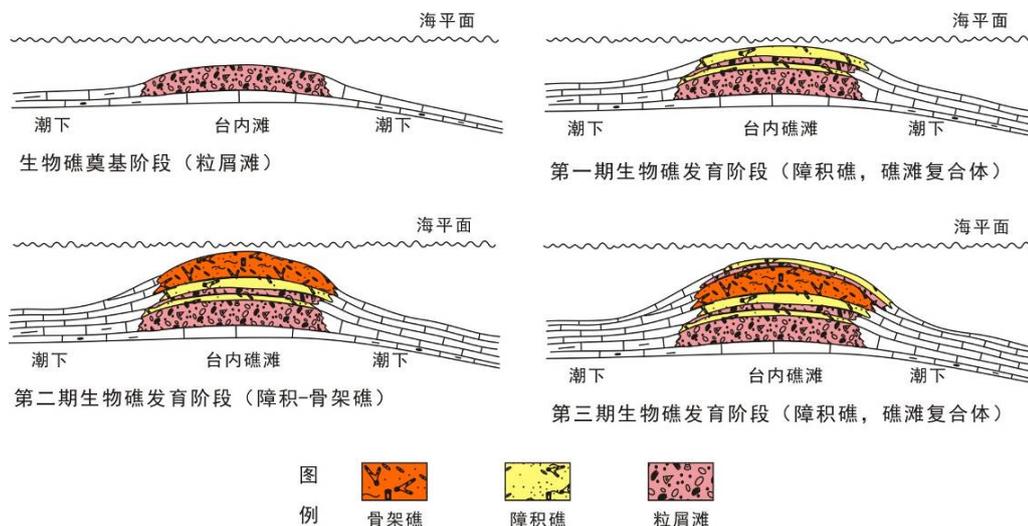


Figure 4. Evolution model about inner platform reef and shoal in Jianshuigou profile
图 4. 涧水沟剖面台内生物礁滩演化模式图

二期生物礁是在第一期生物礁基础上持续发育(10~11层),为造礁生物繁盛阶段,由障积礁-骨架礁的沉积旋回,可以进一步细分为两个次级旋回,第一个沉积旋回由10层构成,主要为礁灰岩,海绵、苔藓虫等造礁生物发育,呈块状,厚度大,骨架礁为主;第二个沉积旋回由11层构成,下部为台内生屑滩,上部为障积礁,云化作用强烈,代表水体变浅,本期生物礁逐渐消亡的特征。总体上,本期生物礁最为发育,造礁生物类型及规模、沉积厚度等均发育较好。第三期生物礁发育于Sq2高位体系域(13~14层),下伏海侵体系域的台内生屑滩构成礁基,主要为障积礁,但其造礁生物的种类没有第二期那么丰富,礁岩厚度也变小。礁的形成与沉积模式具有规律性,从固结基底开始,然后钙质海绵、水螅等造礁生物开始繁茂生长成礁,再次经过波浪破坏、死亡、钙质藻类的粘结、重新生长等阶段,形成厚层的骨架礁。骨架礁暴露水面后停止生长,在顶部形成塌积岩、粒屑滩和小规模的骨架礁,至此,长兴组生物礁完成其演化。在全部的演化过程中,生物礁的生长速率大于相对海平面上升的速率,每个礁体演化的最终都是因海侵而结束。

6. 结论和认识

通过对川东华蓥天池涧水沟剖面长兴组礁滩内部结构及形成模式研究,长兴组生物礁属于台内生物礁沉积,发育于三级层序Sq1和Sq2高位体系域,剖面上识别出三期生物礁生长旋回,均由粒屑滩沉积的礁基和障积礁或骨架礁组成的礁核构成,分别对应于三个向上变浅的准层序组,总体构成加积-进积型生物礁;其中第二期生物礁最为发育,又可划分出2个进积型的次级生长旋回,该期也构成三期生物礁的主体。该剖面白云石化强烈,尤以各期生物礁生长旋回顶部的礁滩复合体白云石化更为明显,可形成良好储层,溶孔溶洞中常见炭化沥青充填物。

基金项目

大学生创新创业训练计划“台内礁滩储层地质建模研究——以川东长兴组为例”(104892013005),国家自然科学基金“台内生物礁储层非均质性形成机制研究”(项目编号:41402090)。

参考文献 (References)

[1] 邹才能,徐春春,汪泽成,胡素云,杨光,李军,杨雨,杨威(2011)四川盆地台缘带礁滩大气区地质特征与形

成条件. *石油勘探与开发*, **6**, 641-651.

- [2] 邓剑, 王伟克, 唐德海, 汪建辉, 陈亚光 (2013) 四川盆地东部涪陵地区台缘礁滩复合体储量计算. *石油天然气学报*, **2**, 50-55.
- [3] 刘殊, 范菊芬, 曲国胜, 郭旭升 (2006) 气烟囱效应——礁滩相岩性气藏的典型地震响应特征. *天然气工业*, **11**, 52-55.
- [4] 胡昊, 王振宇, 屈海洲, 孙崇浩, 张云峰, 于红枫 (2013) 塔中地区中古 51 井区良里塔格组台内礁滩演化模式. *石油天然气学报*, **2**, 1-6.
- [5] 张建勇, 周进高, 郝毅, 王小芳, 吕玉珍, 张大智, 徐美茹, 张润合, 谷明峰, 张敬艺 (2011) 四川盆地环开江 - 梁平海槽长兴组 - 飞仙关组沉积模式. *海相油气地质*, **3**, 45-54.
- [6] 赵文智, 沈安江, 胡素云, 张宝民, 潘文庆, 周进高, 汪泽成 (2012) 中国碳酸盐岩储集层大型化发育的地质条件与分布特征. *石油勘探与开发*, **1**, 1-12.
- [7] 张奇, 屠志慧, 饶雷, 徐亮, 邓思思 (2010) 四川川中地区晚二叠世蓬溪 - 武胜台凹对台内生物礁滩分布的控制作用. *天然气勘探与开发*, **4**, 1-7.
- [8] 马永生, 牟传龙, 谭钦银, 余谦 (2006) 关于开江 - 梁平海槽的认识. *石油与天然气地质*, **3**, 326-331.
- [9] 胡忠贵, 胡明毅, 廖军, 刘冬玺, 蔡全升, 王丹 (2014) 鄂西建南地区长兴组沉积相及生物礁沉积演化模式. *天然气地球科学*, **7**, 980-990.