

The Sedimentary Characteristics and Facies Evolution of the Lower Triassic Feixianguan Formation in Fengjie and Its Peripheral Areas in the East Sichuan Region

Fei Teng^{1,2}, Zhonggui Hu^{1,2}, Zhongbao Liu^{1,2}, Jialan Cai³, Mingtao Zuo^{1,2}

¹Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources (Yangtze University), Ministry of Education, Wuhan Hubei

²Sedimentary Basin Research Center, Yangtze University, Wuhan Hubei

³Chongqing Gas Field, Southwest Oil & Gas Field Company, Petrochina, Chongqing

Email: hzg1978@yangtzeu.edu.cn

Received: Jun. 30th, 2016; accepted: Oct. 30th, 2016; published: Dec. 15th, 2016

Copyright © 2016 by authors, Yangtze University 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

According to the observation of field profile and the laboratory analysis of thin sections, combined with the latest drilling data and based on the results of petrology, paleontology and geophysical interpretation, it was determined that in the earlier Feixianguan Formation of Lower Triassic there existed the isolated carbonate platform mode and the latter period of the land carbonate platform, and it was subdivided into the sedimentary types of restricted platform, open platform, shoal on the platform margin, platform fore-slope, shelf/basin and so on. According to the identification of key sequence boundaries, the Feixianguan Formation in the study area was divided into 2 third-order sequences and 5 fourth-order sequences, and a fourth-order sequence stratigraphic framework was established. The law of sedimentary facies evolution in sequence framework shows that the water body becomes shallow gradually from the Earlier Period to the Latter Period of Feixianguan Formation, and in this period, the filling in sedimentation appears. The sedimentary framework of Feixianguan Formation in Fengjie Area is transitioned from open platform-platform margin-platform fore-slope-shelf sedimentation zones to the restricted platform-open platform, and in the latter period of Feixianguan Formation it becomes a tidal flat sediment of restricted platform caused by complete quasi-plain.

Keywords

Sedimentary Characteristics, Evolution of Facies Belt, Feixianguan Formation, Fengjie Area

川东奉节及周缘地区下三叠统飞仙关组沉积特征及相带演化

腾 飞^{1,2}, 胡忠贵^{1,2}, 刘忠保^{1,2}, 蔡家兰³, 左洛滔^{1,2}

¹油气资源与勘探技术教育部重点实验室(长江大学), 湖北 武汉

²长江大学沉积盆地研究中心, 湖北 武汉

³中国石油西南油气田公司重庆气矿, 重庆

作者简介: 腾飞(1991-), 男, 硕士研究生, 研究方向为沉积学; 通信作者: 胡忠贵。

Email: hzg1978@yangtzeu.edu.cn

收稿日期: 2016年6月30日; 录用日期: 2016年10月30日; 发布日期: 2016年12月15日

摘 要

根据野外剖面观察和室内镜下岩石薄片鉴定分析, 结合最新钻井资料, 以岩石学、古生物及地球物理解释成果为基础, 确定研究区早三叠世飞仙关组早期的孤立碳酸盐台地模式和晚期的连陆碳酸盐台地模式, 细分为局限台地、开阔台地、台地边缘浅滩、台地前缘斜坡和陆棚/盆地等沉积相类型。通过关键层序界面识别, 将飞仙关组划分为2个三级层序和5个四级层序, 建立了四级层序地层格架。层序格架内沉积相演化规律表明, 飞仙关期, 自早期到晚期水体逐渐变浅, 发生充填补齐的沉积作用, 奉节地区沉积格局逐渐由开阔台地-台地边缘-前缘斜坡-海槽相过渡为局限台地-开阔台地, 至飞仙关晚期完全准平原化为局限台地潮坪沉积。

关键词

沉积特征, 相带演化, 飞仙关组, 奉节地区

1. 引言

晚二叠世是特提斯构造发展的活跃时期, 其中上扬子板块西侧峨眉山玄武岩大面积喷发成为陆地, 四川盆地古地貌总体呈现西高东低的格局。海水西浅东深, 沉积区自西向东依次为陆相区、海陆交互区与海相区沉积, 西缘的康滇古陆为主要物源区。在此期间, 四川盆地处于拉张伸展构造环境下, 台内裂隙活动扩大, 由于华南板块西邻的松潘-甘孜边缘海扩张, 南秦岭洋海水加深向南推进, 在上扬子区整体形成了槽-台相间的古地理格局[1]。由于晚二叠世上扬子板块整体处于赤道附近, 温度及养料适宜, 在拗拉槽两侧均发育众多的礁、滩相沉积。值得注意的是, 受晚二叠世期间持续的基底下沉等拉张作用控制和沉积地形分异的加剧, 川东奉节及周缘地区长兴晚期“槽台格局”最为发育, 可能形成连续的台地边缘带, 并沿海槽边界延伸连为一体[2]。由于控制台盆发育的同沉积断裂活动仍然存在, 飞仙关组早-中期川东北古地理格局与长兴期相比具明显继承性[3]。已有的研究及勘探成果均表明, 四川盆地北部地区飞仙关组鲕滩气藏主要分布在开江-梁平海槽东西两侧的边缘相带, 普光、龙岗等地区大型礁滩气藏的陆续发现, 进一步验证了这一重要地质认识。近年来, 随着奉节地区奉1井、奉探1井的完钻, 揭示出该区地下礁滩沉积, 更加证实了城口-鄂西地区台地边缘相带的存在。该次研究旨在明确该区飞仙关

组沉积特征及相带展布规律,掌握鲕滩储层的分布特征,为拓展城口-鄂西地区边缘礁滩勘探领域提供地质依据。

2. 区域地质背景

奉节及周缘地区主要位于川东地区东缘的黑楼门构造,地处川东盆缘-大巴山前缘构造复合带,亦是北东向的云安厂-碕村构造与东西向的马槽坝构造之合围部位。黑楼门构造属于川东构造体系,地面为一近东西向宽缓之短轴箱状背斜,南以石门荒向斜与双河寨、碕村构造相望,北邻宽广的望山寺向斜与大木垭、天星桥等构造相对,并以向斜逐渐过渡到大巴山褶皱带南缘,东与齐岳山背斜相抵,向西倾伏于开县向斜中。在区域构造上隶属于大巴山前陆盆地的前缘坳陷带,同时也位于川东弧形褶皱带的东北角(图 1) [4]。因此,研究区不仅受大巴山前陆盆地的形成及演化控制,同时也受到川东构造带的控制,构造演化机制相对复杂。

飞仙关组共分为 4 段,但研究区的飞三段(T_1f^3)、飞二段(T_1f^2)、飞一段(T_1f^1)三分并不明显,所以以飞四段(T_1f^4)和飞三-飞一段(T_1f^{3-1})划分。飞仙关组岩石类型较为复杂,碳酸盐岩和膏岩均有分布。其中,颗粒白云岩和粉-细晶白云岩主要分布于 T_1f^1 - T_1f^3 中。颗粒灰岩较为丰富,多位于 T_1f^1 的局部和 T_1f^2 、 T_1f^3 中。前人研究表明:飞仙关组自下而上由开阔海台地碳盐岩相过渡到局限海台地蒸发岩相沉积[3] [5]。研究区飞仙关组地层厚度一般 300~500 m,对长兴组具有填平补齐的作用,两者地层厚度呈互补关系(图 1)。

3. 沉积相类型及特征

3.1. 岩石标志

3.1.1. 颗粒灰岩

又可分为亮晶鲕粒灰岩、亮晶砂屑灰岩、亮晶变形内碎屑灰岩等,其中以亮晶鲕粒灰岩最为发育,占该类岩石的 80% 以上,主要分布在台地边缘和台内点滩的 T_1f^1 - T_1f^3 中(图 2(a))。其次是亮晶砂屑灰岩和亮晶变形砂屑灰岩,这些岩石的分布范围狭窄、厚度小,多与鲕粒灰岩渐变过渡。亮晶鲕粒灰岩的鲕粒体积分数一般 60%~70% (图 2(b)),部分鲕粒内部可被粉-细晶自形白云石选择性交代(图 2(c))。鲕粒间亮晶胶结的世代结构较发育,主要为 2 期,第 1 期多为纤柱状单环边亮晶方解石,第 2 期为粉-细粒亮晶方解石,具明显的充填结构。砂屑颗粒大小一般 0.5~1.5 mm,可见部分变形砂屑,呈拖拉状、蝌蚪状(图 2(d))。

3.1.2. 泥晶灰岩

由泥晶方解石组成,占 90% 以上,岩性较单一,不含或含少量生物骨屑,灰岩未云化或弱云化,偶见有泥晶或微晶方解石完全白云石化而构成泥晶-微晶白云岩。孔隙不发育,具压溶作用产生的泥质和有机质缝合线。且部分泥晶云岩中含有硬石膏,体积分数可达 10%~12% (图 2(e)),可能发育于潮坪-台地潟湖沉积区。

3.1.3. 粉-细晶白云岩

这类白云岩主要由大小为 0.003~0.25 mm 的粗粉晶和细晶白云石组成,体积分数 60%~95%,白云石晶体以自形-半自形为主,局部它形,晶体表面较脏,富含包裹体。部分白云石晶体具雾心亮边结构(图 2(f)),有时可见残余组构(如鲕粒、砂屑)的残余。主要分布在 T_1f^3 。

3.2. 沉积相类型及特征

根据野外剖面观察和室内镜下岩石薄片鉴定分析,并结合岩石学、古生物及测井和地震等沉积相标志研究,对飞仙关组进行了沉积相研究。研究区飞仙关组为“台地模式” [6]。

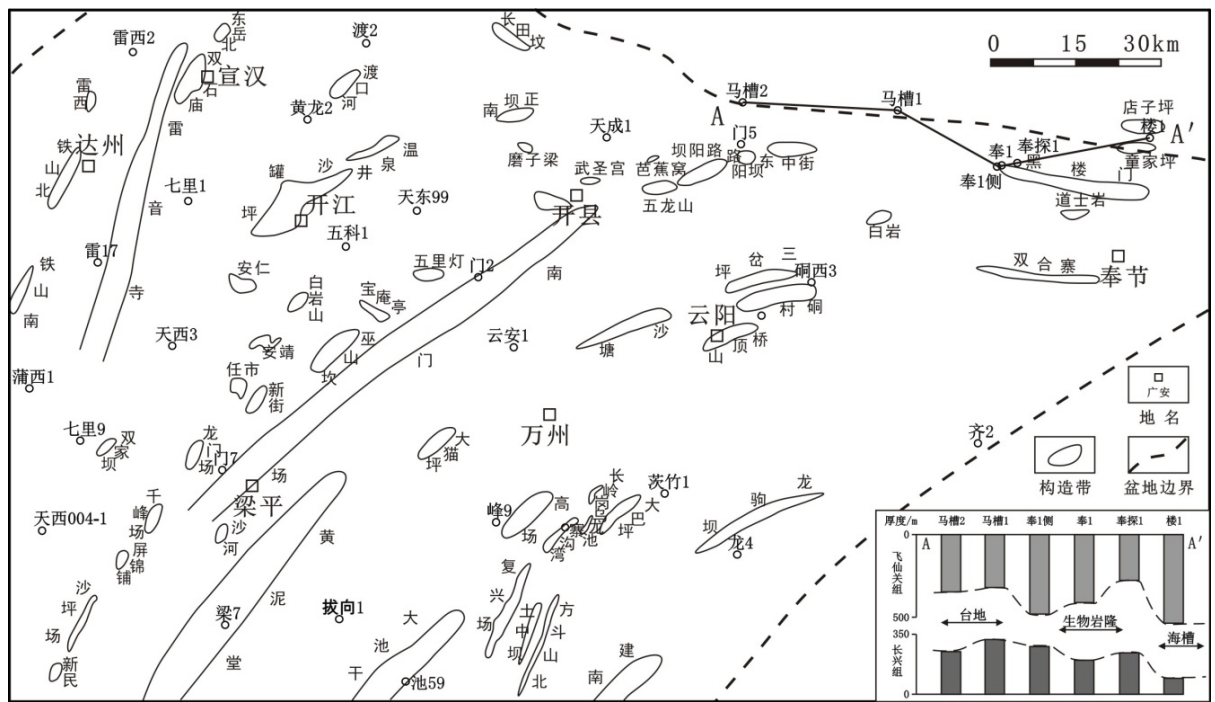


Figure 1. Distributions of tectonics and formation thickness in Fengjie Area and its peripheral areas

图 1. 奉节及周缘地区构造分布及地层厚度分布图

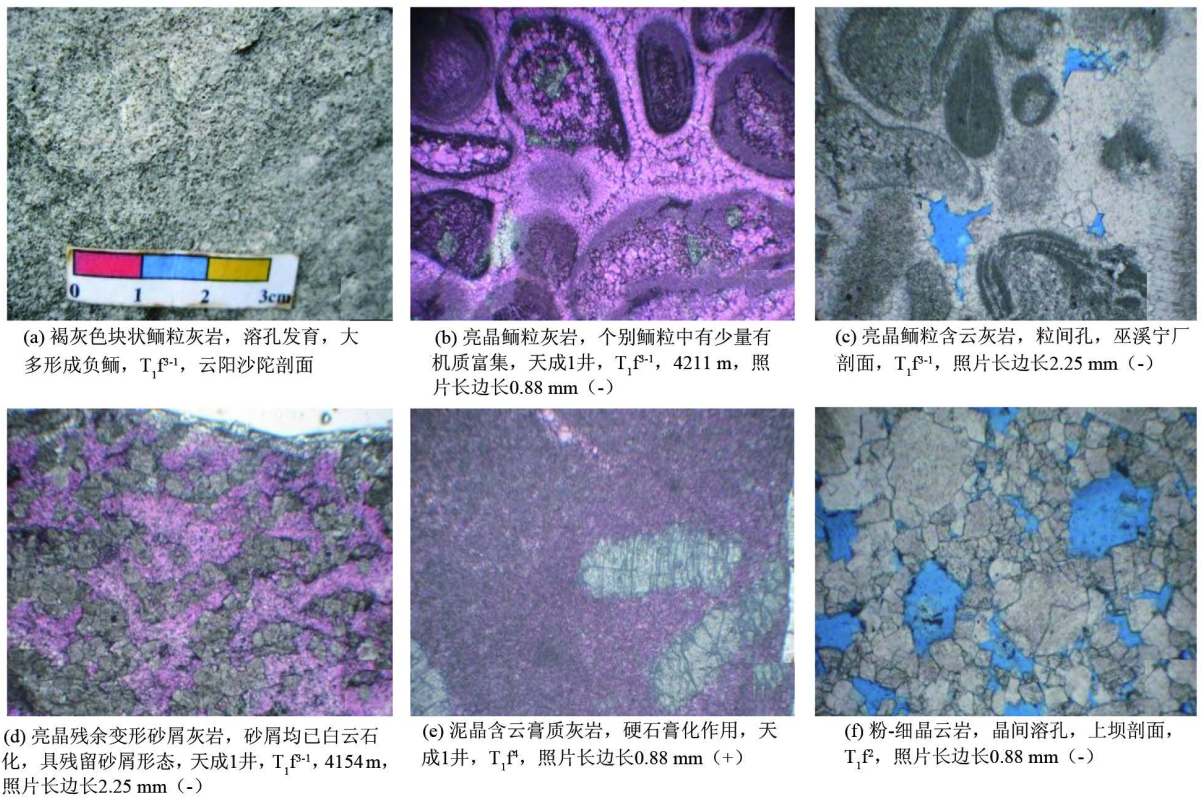


Figure 2. Main types of reservoir rocks of Feixianguan Formation in Fengjie Area and its peripheral area

图 2. 奉节及周缘地区飞仙关组主要岩石类型

3.2.1. 局限台地相

沉积物以灰泥为主,在局部地区如潮汐水道可有粗颗粒沉积发育,岩性以褐灰色-紫红色泥晶灰岩、泥质灰岩、云质灰岩、泥晶白云岩及部分膏岩为主。可进一步划分为潟湖、浅滩和潮坪3个微相。

3.2.2. 开阔台地相

岩石类型主要有:泥晶灰岩、(含)生屑泥晶灰岩、泥晶生屑灰岩、亮晶生屑灰岩、亮晶鲕粒灰(云)岩、亮晶砂屑灰岩等,颜色浅灰色-深灰色不等,单层厚度一般以中层为主,常发育水平层理、波状层理、交错层理、生物扰动等沉积构造。该亚相广泛分布于飞仙关期,可进一步划分为台内滩、台内礁和潮下3个微相。

3.2.3. 台地边缘浅滩相

岩性主要为灰白色-浅灰色亮晶生屑灰岩,具生物残余结构的白云岩,亮晶鲕粒灰岩、亮晶砂屑灰岩等。台地边缘浅滩相主要沿开阔台地边缘呈条带状或链状断续分布,形成“台地镶边”格局。平面上沿城口-鄂西海槽及川东北孤立台地周缘呈环带状分布。

3.2.4. 台地前缘斜坡相

沉积物以原地灰泥和异地重力流沉积为主。岩性主要为薄-中层泥质灰岩、泥晶灰岩夹钙质泥岩、页岩及重力流成因的各种角砾岩、钙屑浊积岩,颜色呈杂色到灰、深灰色,发育重力流构造、滑动变形层理等。发育少量生屑如双壳类、腹足类、菊石类化石。该相发育于飞仙关组中下部,平面上分布于台地边缘与海槽相带的过渡地区。

3.2.5. 盆地相

研究区盆地相与深海盆地不同,属浅海陆棚,岩性主要为深灰色、灰黑色页状-薄层泥晶灰岩、泥灰岩夹褐色薄层钙质泥岩,水平层理发育,化石稀少,偶见薄壳瓣鳃、菊石等完整化石及碎片。纵向上该相带主要分布在飞仙关组底部;平面上主要分布于城口-鄂西海槽内部,随飞仙关期海槽的关闭,分布范围逐渐向东迁移。

3.3. 沉积相模式

由于飞仙关组早期的相对海平面大规模上升,之后台地的强烈沉积作用及相对海平面下降和台地的不断增生,使区内飞仙关组不同时期沉积模式也有所不同[6][7][8]。

3.3.1. 飞仙关组早期孤立碳酸盐台地模式

飞仙关组早期,区域上发生大规律海侵,台地范围大面积缩小,台地相仅发育于研究区北部,研究区南部全部演变为斜坡相。此时,研究区仍为台-槽沉积格局,但台地四面被深水所围限,已发展成为孤立台地[9](图3(a))。

自孤立台地中央向四周,依次发育以下相带:①局限潟湖-潮坪沉积区,主要堆积了一套膏岩、膏质泥粉晶白云岩、灰质白云岩和泥晶灰岩;局限潟湖内可能还有随机分布的由砂屑云岩和鲕粒云岩等构成的小型台内点滩;②开阔台地沉积区,主要由一套中-厚层泥晶灰岩构成,台地内部可能随机发育由砂屑云岩和鲕粒云岩等构成的小型台内点滩;③台地边缘沉积区,主要由滩相的厚层-块状鲕粒白云岩、灰质鲕粒白云岩夹滩间的中-厚层泥晶灰岩构成;④斜坡沉积区,由一套中-薄层状的泥晶灰岩夹中-厚层状重力流砾屑灰岩和极薄层的泥岩构成;⑤盆地沉积区,主要由中-薄层状泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩和泥岩构成。

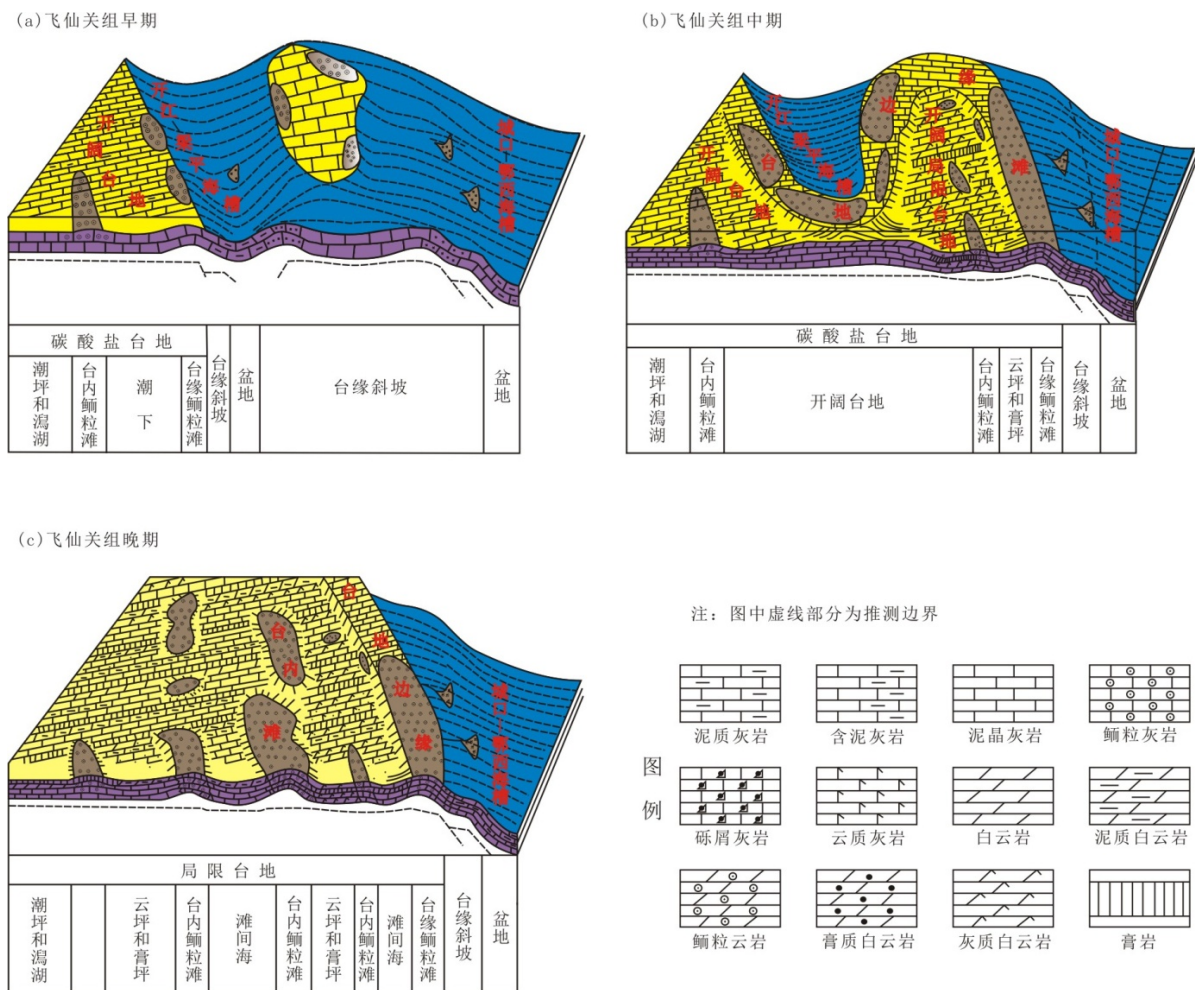


Figure 3. The sedimentary mode of Feixianguan Formation in Fengjie Area and its peripheral areas

图 3. 奉节及周缘地区飞仙关组沉积相模式图

3.3.2. 飞仙关组晚期连陆碳酸盐台地模式

飞仙关组中期，由于飞仙关组早期以来相对海平面的下降以及强烈沉积作用，研究区北部孤立台地不断向四周增生，孤立台地向南的增生直接导致研究区南部早期的斜坡区逐渐被填平，大部分地区演变为浅水台地相，并最终实现孤立台地与四川台地连为一片，结束了孤立台地的演化历史，研究区再次演化为连陆碳酸盐台地[10] [11] (图 3(b)、图 3(c))。

该时期台地相带展布自西向东，依次发育台地沉积区、斜坡沉积区和盆地沉积区。台地沉积区由局限台地沉积、开阔台地沉积、台地边缘沉积构成；局限台地包括潟湖和潮坪环境，潮坪多位于滩体之上或围绕滩体周缘分布，由一套薄层泥晶白云岩、灰质云岩、膏质云岩夹膏岩、泥页岩构成；潟湖沉积由一套泥晶灰岩、云质灰岩及云岩构成；开阔台地沉积主要由一套潮下亚相的中-厚层泥晶灰岩夹台内滩相鲕粒灰(云)岩构成；台地边缘沉积主要由一套鲕粒灰(云)岩(高能滩)、泥晶灰岩(滩间)构成[12]。斜坡沉积区由一套泥晶灰岩夹重力流成因的颗粒岩构成。盆地沉积区主要由一套薄层泥晶灰岩夹泥、页岩构成。

期间，由于相对海平面的持续下降以及高速率沉积作用的继续进行，台地不断向海槽方向增生，飞仙关组末期，开阔台地、台地边缘、斜坡和盆地相向东基本退出该区，区内演变成为较均一的局限潮坪-潟湖环境。

4. 层序格架内沉积相展布及演化

4.1. 层序格架内沉积相横向展布特征

通过对野外剖面、钻井沉积相与层序地层学综合分析及地震关键界面识别，将飞仙关组划为 2 个三级层序[5]，由下向上依次命名为 Sq1、Sq2，均发育两个体系域，即海侵体系域(TST)和高位体系域(HST)。飞仙关组和长兴组在研究区主体呈整合接触，分界面为淹没不整合接触和岩性 - 岩相转换界面。在三级层序划分的基础上，综合考虑前人划分方案及区域对比的可操作性，对典型飞仙关组生物滩发育井进行了精细层序地层划分，建立标准对比剖面。进一步将飞仙关组细分为 5 个四级层序(sq1-sq5)，其中三级层序 Sq1、Sq2 分别对应于 sq1-sq3 和 sq4-sq5。

从东西向的天成 1 井~马槽 2 井~马槽 1 井~奉 1 侧井~奉 1 井~奉探 1 井~楼 1 井的井连井对比剖面(图 4)分析表明：

1) 纵向上，该连井剖面自下而上水体总体变浅，相带从下向上依次为开阔台地~局限台地。由于楼 1 井整体较靠近城口 - 鄂西海槽，水体较深，一直处于陆棚沉积环境。

2) 横向上，sq1、sq2 及 sq3 时期，研究区自西向东依次为开阔台地 - 台地边缘 - 台地前缘斜坡 - 陆棚相带，天成 1 井 - 奉 1 井均为开阔台地沉积，奉探 1 井 - 楼 1 井为陆棚沉积，仅在 sq3-HST 时期，天成 1 井和马槽 2 井为局限台地沉积；sq4 及 sq5 时期，水体再次变浅，研究区由前期的开阔台地相演变为以局限台地相为主体的沉积格局，仅在天成 1 井和马槽 2 井部分体系域发育开阔台地相。马槽 1 井、天成 1 井和奉 1 侧井中可见少量局限台地台内滩。楼 1 井继承了前期的沉积格局，仍为陆棚相带。

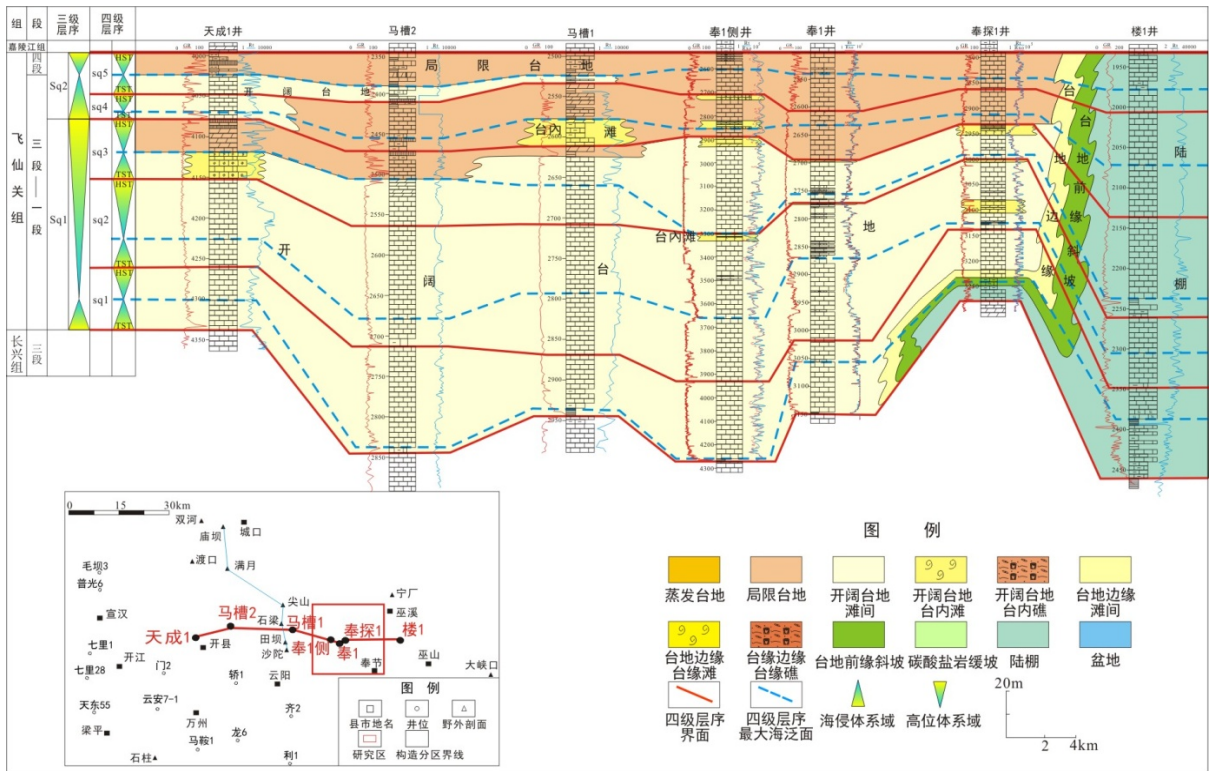


Figure 4. The lateral distribution of sedimentary facies in Feixianguan Formation of Well TC1-Well MC2-Well MC1-Side-tracking Well and Well F1-Well FT1-Well L1 inside the sequence framework

图 4. 天成 1 井~马槽 2 井~马槽 1 井~奉 1 侧井~奉 1 井~奉探 1 井~楼 1 井层序格架内飞仙关组沉积相横向展布图

4.2. 三级层序格架内沉积相空间展布及演化

Sq1-TST 基本继承了晚二叠世晚期沉积格局，在城口 - 鄂西海盆区总体上水体还是较深，发育一套斜坡 - 陆棚相沉积，该时期主要由薄层泥晶灰岩沉积组成，发育滑动变形构造以及重力流沉积等，但不发育硅质岩盆地沉积。其他地区发育有开阔台地、局限台地及台地边缘滩等(图 5(a))；Sq1-HST 时期研究区沉积相呈西北向东南展布，发育有斜坡 - 陆棚、开阔台地、局限台地及台地边缘滩等。由于水体变浅，台地边缘滩相主要沿城口 - 鄂西海盆边缘分布，台地边缘滩相沉积分布面积大，可连片分布，滩体顶部由于暴露在大气淡水环境，发生白云石化作用和溶蚀作用，形成好的储层(图 5(b))；Sq2-TST 时期研究区台地边缘滩相带位于宣汉羊鼓洞、盘龙洞等地，研究区发育大面积的开阔台地相沉积(图 5(c))；Sq2-HST 时期研究区由于填平补齐作用，其整体均为一套浅水碳酸盐台地相沉积，主要发育一套大面积的局限台地相沉积(图 5(d))。

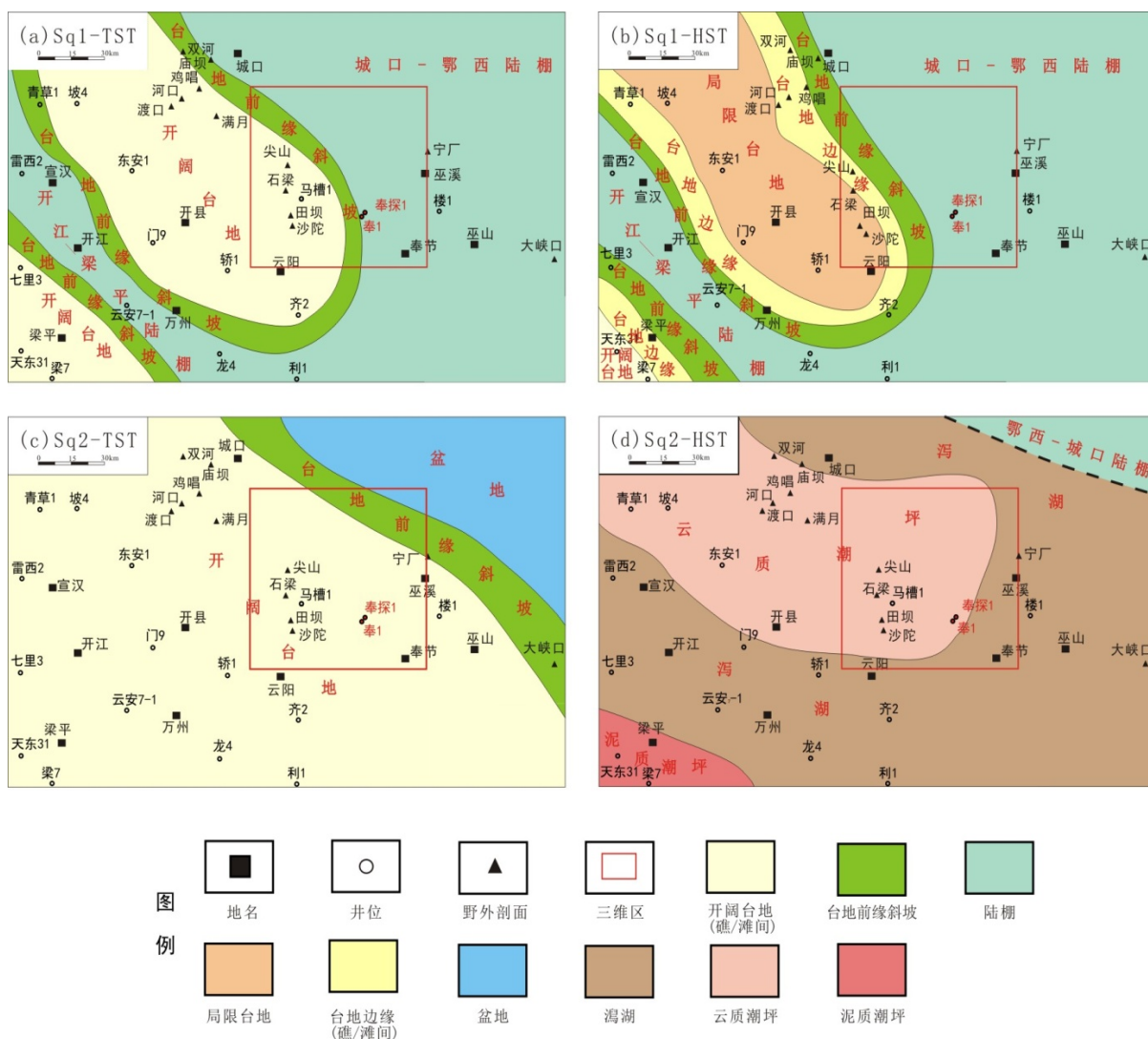


Figure 5. The plane distribution of sedimentary facies and its evolution inside the sequence framework of Feixianguan Formation in Fengjie Area and its adjacent areas

图 5. 奉节及周缘地区飞仙关组层序格架内沉积相平面展布及演化图

5. 结论

1) 奉节及周缘地区下三叠统飞仙关组主要发育颗粒灰岩、泥晶(含云)灰岩、细-粉晶(含灰)白云岩等岩石类型。根据野外剖面观察和室内镜下岩石薄片鉴定分析,并结合岩石学、古生物及测井和地震等沉积相标志研究,确定研究区飞仙关组早期孤立碳酸盐台地模式和晚期的连陆碳酸盐台地模式,细分为局限台地、开阔台地、台地边缘浅滩、台地前缘斜坡和陆棚/盆地等沉积相类型。

2) 通过关键层序界面识别,将飞仙关组划分为2个三级层序和5个四级层序,均由TST和HST构成,并建立了四级层序地层格架。层序格架内沉积相演化规律表明,飞仙关组自早期到晚期水体逐渐变浅,发生充填补齐的沉积作用,奉节地区沉积格局逐渐由开阔台地-台地边缘-前缘斜坡-海槽相过渡为局限台地-开阔台地,至飞仙关组晚期完全准平原化为局限台地潮坪沉积,从实钻情况看,该区鲕滩沉积不发育,仅在sq2-sq3发育薄层鲕滩或生屑滩沉积。

基金项目

国家自然科学基金项目(41402090);长江青年人才基金项目(2015cqr09);长江青年科技创新团队基金项目(2015cqt04)。

参考文献 (References)

- [1] 罗志立. 峨眉地裂运动和四川盆地天然气勘探实践[J]. 新疆石油地质, 2009, 30(4): 419-424.
- [2] 陈洪德, 黄福喜, 徐胜林, 等. 中上扬子地区碳酸盐岩储层发育分布规律及主控因素[J]. 矿物岩石, 2009, 29(4): 7-15.
- [3] 戴荔果, 郑荣才, 李爽, 等. 川东-渝北地区飞仙关组层序-岩相古地理特征[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 110-119.
- [4] 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.
- [5] 马永生, 牟传龙, 郭彤楼, 等. 四川盆地东北部飞仙关组层序地层与储层分布[J]. 矿物岩石, 2005, 25(4): 73-79.
- [6] 彭平, 文敏, 孟琳. 川东地区飞仙关组沉积模式对储层展布特征的影响[J]. 天然气勘探与开发, 2004, 27(2): 5-10.
- [7] 乔占峰, 李国蓉, 龙胜祥, 等. 川东北地区飞仙关组层序地层特征及演化模式[J]. 沉积学报, 2010, 28(3): 462-470.
- [8] 宋海敬, 胡明毅, 喻高明, 等. 鄂西渝东地区飞仙关组层序地层学研究[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(4): 207-209.
- [9] 杨雨, 曾云贤, 刘微. 川东北部地区飞仙关组沉积相对鲕滩储层分布的控制[J]. 天然气勘探与开发, 2002, 25(3): 1-9.
- [10] Zhang, J.Y., Zhou, J.G., Hao, Y., *et al.* (2011) A Sedimentary Model of Changxing and Feixianguan Reservoirs around Kaijiang-Liangping Trough in Sichuan Basin. *Marine Origin Petroleum Geology*, **16**, 45-54.
- [11] 张建勇, 周进高, 郝毅, 等. 四川盆地环开江-梁平海槽长兴组-飞仙关组沉积模式[J]. 海相油气地质, 2011, 16(3): 45-54.
- [12] 郑荣才, 罗平, 文其兵, 等. 川东北地区飞仙关组层序-岩相古地理特征和鲕滩预测[J]. 沉积学报, 2009, 27(1): 1-8.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jogt@hanspub.org