

川东—渝北地区飞仙关组层序—岩相古地理特征

戴荔果¹ 郑荣才¹ 李 爽² 郑 超² 胡忠贵¹

(1. 成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 四川 成都 610059;
2. 中国石油西南油气田分公司重庆气矿, 重庆 400021)

摘要: 以沉积相分析和层序界面识别为依据, 将川东—渝北地区下三叠统飞仙关组划分为 2 个三级层序 (SQ1 和 SQ2) 和 6 个体系域, 编制各沉积体系域的层序—岩相古地理图。研究表明, SQ1 层序时期, 研究区受晚二叠世长兴末期的区域构造抬升影响, 属于区域性缓慢海进—缓慢海退沉积旋回的产物, 一度开阔深水的台盆逐渐变浅而转化为开阔台地沉积环境, 台地边缘与台内鲕滩的沉积相分异和沉积作用十分活跃, 是形成飞仙关组鲕滩储层的主要时期, 尤以海侵期鲕滩最为发育; SQ2 层序发育期, 受海平面大幅度下降、水循环受限和干旱炎热气候的影响, 区域沉积格局由开阔台地转化为局限台地, 鲕滩逐渐消失, 最终进入频繁暴露的蒸发台地环境, 以沉积膏云岩为主, 为飞仙关组天然气藏最重要的第一套区域性致密盖层发育层位。

关键词: 下三叠统飞仙关组; 层序—岩相古地理; 鲕滩; 储层; 川东—渝北地区

中图分类号: P534.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)01-0110-10

近年来, 中国碳酸盐岩储层勘探不断取得重大突破, 尤其在四川盆地东部, 发现了众多大、中型碳酸盐岩气田, 如普光、罗家寨、渡口河和铁山坡等大型油气田, 并在其周缘地区不断取得新的发现, 显示出川东地区二叠系—三叠系海相碳酸盐岩巨大的油气勘探潜力, 因此, 该地区二叠系、三叠系海相碳酸盐岩沉积相古地理、储层和油气藏特征的研究已成为最大热点之一^[1-12]。本文以区域地质背景、岩心和测井资料等综合研究为基础, 以层序分析为技术路线, 编制层序—岩相古地理图技术手段^[12,13], 深入研究川东—渝北地区飞仙关组岩相古地理特征和有利储层发育的鲕滩相带分布规律。

1 地质概况

川东—渝北地区位于四川省东部和重庆市北部, 地理位置上跨越了重庆市的渝北区、北碚区和四川省境内的邻水、大竹、广安和华莹山等县市, 包括邻北、板东、板桥、座洞崖、铜锣峡、相国寺、相东和环山等含油气构造, 面积约 3900 km² (图 1)。大地构造

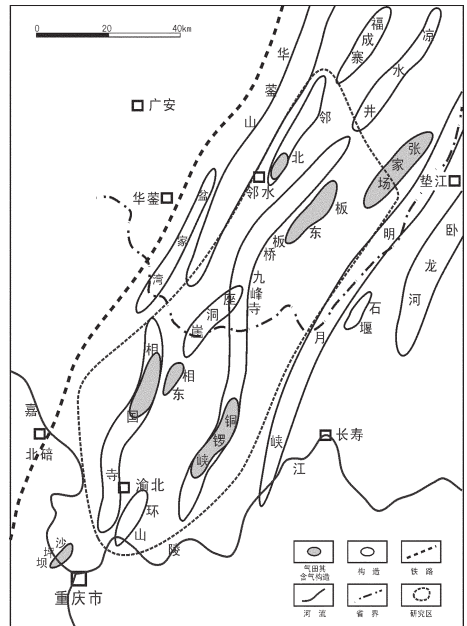


图 1 研究区概况
Fig.1 Overview of the study area

收稿日期: 2008-10-15; 改回日期: 2008-11-06

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2001CB409800)和国家自然科学基金项目(40802017, 40212020)共同资助。

作者简介: 戴荔果, 男, 1981 年生, 硕士生, 主要从事沉积地质学和石油地质学研究; E-mail: daocheng2008@hotmail.com。

位置属于上扬子地台的一部分,印支运动以来,该地区位于多边界的盆缘推覆山系与盆地构造交接部位,主要定型于喜山运动时期,构造褶皱强烈,发育有一系列近平行排列的北东向高陡背斜,背斜狭窄,向斜宽缓。东北部因受大巴山弧形构造的影响,构造走向从北东向逐渐转为北东东向—东西向。由于受挤压力作用强,主背斜断层发育,常将构造切割成断块或断鼻,产生了复杂的构造格局。区内发育有上二叠统龙潭组巨厚的高品质烃源岩系和巨大的资源量,以及包括上二叠统长兴组和下三叠统飞仙关组、嘉陵江组在内的多套优质白云岩储集层和封闭性极好的区域性膏盐岩盖层。目前已发现的、以普光和罗家寨气田为代表的数个特大型和大中型气藏都主要产于飞仙关组。

2 飞仙关组沉积相与层序地层特征

2.1 飞仙关组沉积相特征

飞仙关组于川东—渝北地区连续分布,其下伏地层为上二叠统长兴组(或大隆组),上覆地层为下三叠统嘉陵江组。大量的岩心描述和薄片鉴定结果,表明研究区飞仙关组岩石类型以颗粒灰岩和泥—微晶灰岩为主,其次为泥灰岩、泥页岩和白云岩,偶见云质石膏岩和岩溶角砾岩,其中常见的白云岩主要是粉—细晶鲕粒白云岩。由于本研究区主体位于台地边缘和开阔台地相带,水体较浅而能量较高,容易形成大量大面积原地堆积的鲕粒灰岩、生物碎屑灰岩和砂屑灰岩,形成面积可达十几至几十、乃至近百

平方千米的台缘和台内鲕滩^[15-17],以及局部的边缘和台内生物碎屑滩。垂向剖面上,由鲕滩(或生物碎屑滩)与斜坡或开阔台地潮下静水泥韵律交替组成了 2 个区域海侵—海退旋回,鲕滩或(生物碎屑滩)主要发育在位处海退旋回的飞二和飞三段,滩体的顶部被局限台地相的泥—微晶灰岩、泥灰岩超覆,于飞四段顶部出现蒸发台地相的膏质泥云岩、云质石膏岩,总体显示了鲕滩向上变浅的原地浅滩化沉积序列。综合上述特征,认为飞仙关组碳酸盐岩的沉积组合和演化特征符合里德的碳酸盐台地概念和沉积模式^[14],将川东地区飞仙关组划分为台盆、缓斜坡、台地边缘浅滩、开阔台地和局限台地 5 个亚相,各亚相再细分包括台缘和台内鲕滩在内的 12 个微相(表 1,由于受篇幅限制,各亚相和微相特征不再细述)。

川东—渝北地区飞仙关组沉积环境及演变是在晚二叠世川东碳酸盐台地基础上发展起来的,具有典型的浅水台地沉积模式(图 2),特征如下:①大范围内均表现为浅水台地与深水台盆相间展布的沉积格局;②晚二叠世早期台地内拉张作用形成的局部构造凹陷对飞仙关组早期沉积有控制作用;③台缘和台内鲕滩是最有利的储集相带,高效的鲕滩相白云岩储层为多期次埋藏白云岩化的产物^[10,15],并往往叠加有晚成岩阶段构造与硫酸盐热化学反应(TSR)有关的碎裂化和溶蚀改造^[16-19];④开阔台地潮下静水泥、缓斜坡和台盆远洋泥沉积具备一定的生烃能力和局域性盖层条件;⑤局限台地泻湖、膏泥坪、云膏坪等沉积相类型可提供优质的区域性致密盖层。

表 1 川东—渝北地区飞仙关组沉积相划分简表
Table 1 Sedimentary facies classification of the Feixianguan Formation in eastern Sichuan—northern Chongqing area

相	亚相	微相	岩性	发育层位
碳酸盐台地	局限台地	潟湖	泥岩、页岩、泥灰岩、灰岩(偶见)	飞二、四段
		灰泥坪	泥岩、泥灰岩、泥质灰岩	飞四段
		泥灰坪	灰岩、泥灰岩、泥质灰岩、泥页岩	
		灰坪	灰岩、页岩(偶见)	
		膏云坪	泥质云岩、云质石膏岩	
	膏泥坪	膏质泥云岩、膏质泥灰岩、泥质灰岩		
	开阔台地	潮下静水泥 台内鲕滩	粗粉晶—泥晶灰岩、泥灰岩、页岩 微—亮晶鲕粒灰岩, 鲕粒白云岩	飞二、三段 飞三段
	台地边缘浅滩	台缘鲕滩 滩间	鲕粒灰岩、假鲕状灰岩, 鲕粒白云岩 泥晶灰岩、细—粉晶灰岩	飞一、三段
	斜坡	缓斜坡	泥晶灰岩、粗粉晶灰岩、泥质灰岩	飞一至三段
	台盆	远洋泥	页岩、灰质页岩、泥岩、泥灰岩	飞一、二段

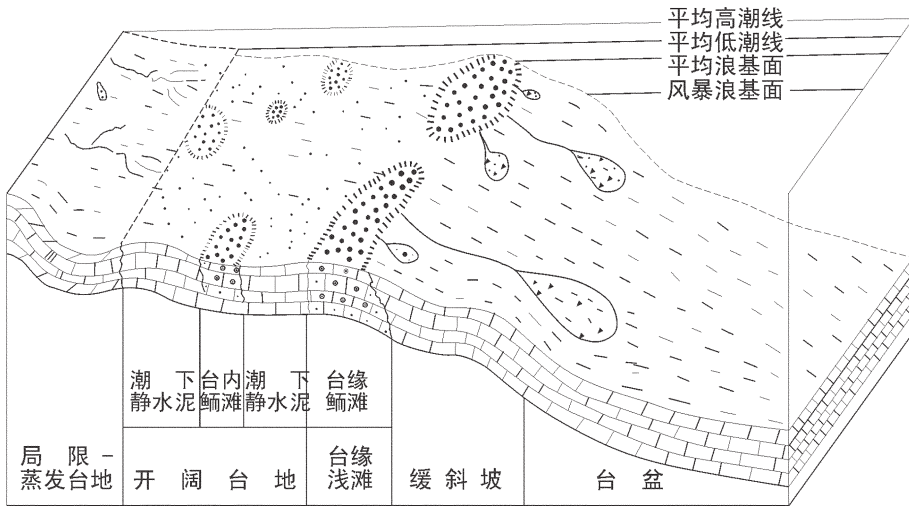


图 2 川东—渝北地区飞仙关组碳酸盐台地沉积模式
 Fig.2 Sedimentary model of carbonate platform in Feixianguan
 Formation of eastern Sichuan -northern Chongqing area

2.2 飞仙关组层序地层特征

川东—渝北地区飞仙关组可识别出 2 个层序界面和 2 个最大海泛面^[9](图 3), 2 个层序界面分别位于飞一段和飞三段底部, 其中位于飞一段底部的层序界面也是飞仙关组与上二叠统长兴组之间的分界面, 该界面为一有强烈暴露作用的古岩溶界面^[11], 具典型 I 型层序界面特征; 飞三段底部的层序界面为一由区域性海退折向区域性海侵的相转换面^[11], 属 II 型层序界面。2 个最大海泛面分别发育于飞二段下部和飞三段上部, 由薄层泥灰岩和黑色页岩组成。依据层序界面和最大海泛面的位置, 将川东北地区飞仙关组划分出 2 个 III 级层序^[9], 其中由飞一、二段叠加组成的层序定名为 SQ1, 属于 I 型层序; 飞三、四段叠加组成的层序定名为 SQ2, 属于 II 型层序。此二个层序都以不发育 LST(或 SMST), 以 TST 直接超覆层序界面为主要特征, 于区域上的岩性、岩相和厚度虽然变化很大, 但跨越各沉积相带的沉积体系域与各岩性段基本对应, 在区域上具有较好的可对比性(图 4)。

3 层序-岩相古地理特征

3.1 层序-岩相古地理编图技术

传统的岩相古地理编图是以岩石地层单位为编图单元, 一方面其跨度时间较长, 图件相对粗糙, 另一方面是其等时性较差, 很难真实地反映古地理面

貌和相带展布特征。根据层序地层学理论, 层序界面系由海平面相对下降时形成的不整合面或相关整合面组成, 界面上发育有与海平面下降有关的物性标识, 能够加以识别。层序内部体系域之间的界面也有相关的物性标识, 也能识别。体系域是在海平面统一上升或统一下降过程的地层旋回中形成的, 具有很强的等时性。因此, 依据旋回等时对比法编制层序-岩相古地理能较好地克服同时异相地层之间等时比问题, 具有更好的勘探实用性^[12,13]。

川东—渝北地区飞仙关组地层发育齐全, 分布面积广, 地层可对比性强, 具备在等时间地层框架内编制层序-岩相古地理图的条件(图 4)。为了摸清川东—渝北地区飞仙关期沉积环境、演化特征和相带展布规律, 特别是鲕滩展布规律, 以层序界面和最大海泛面为等时界面, 以体系域为等时地层编图单元, 取优势相为编图要素, 结合同时期地层等厚图、白云岩等厚图、蒸发岩等厚图、鲕粒(颗粒)等厚图等基础图件, 分别编制飞仙关组各体系域层序-岩相古地理图, 为描述飞仙关组相带展布特征和鲕滩预测奠定基础。

3.2 川东—渝北地区层序-岩相古地理特征

3.2.1 SQ1 层序-岩相古地理特征

SQ1 层序由飞一段和二段叠加组成, 为一缺乏低位体系域的 I 型 III 级层序, 以初始海泛面和最大海泛面为界可划分为海侵 (TST) 和早期高位

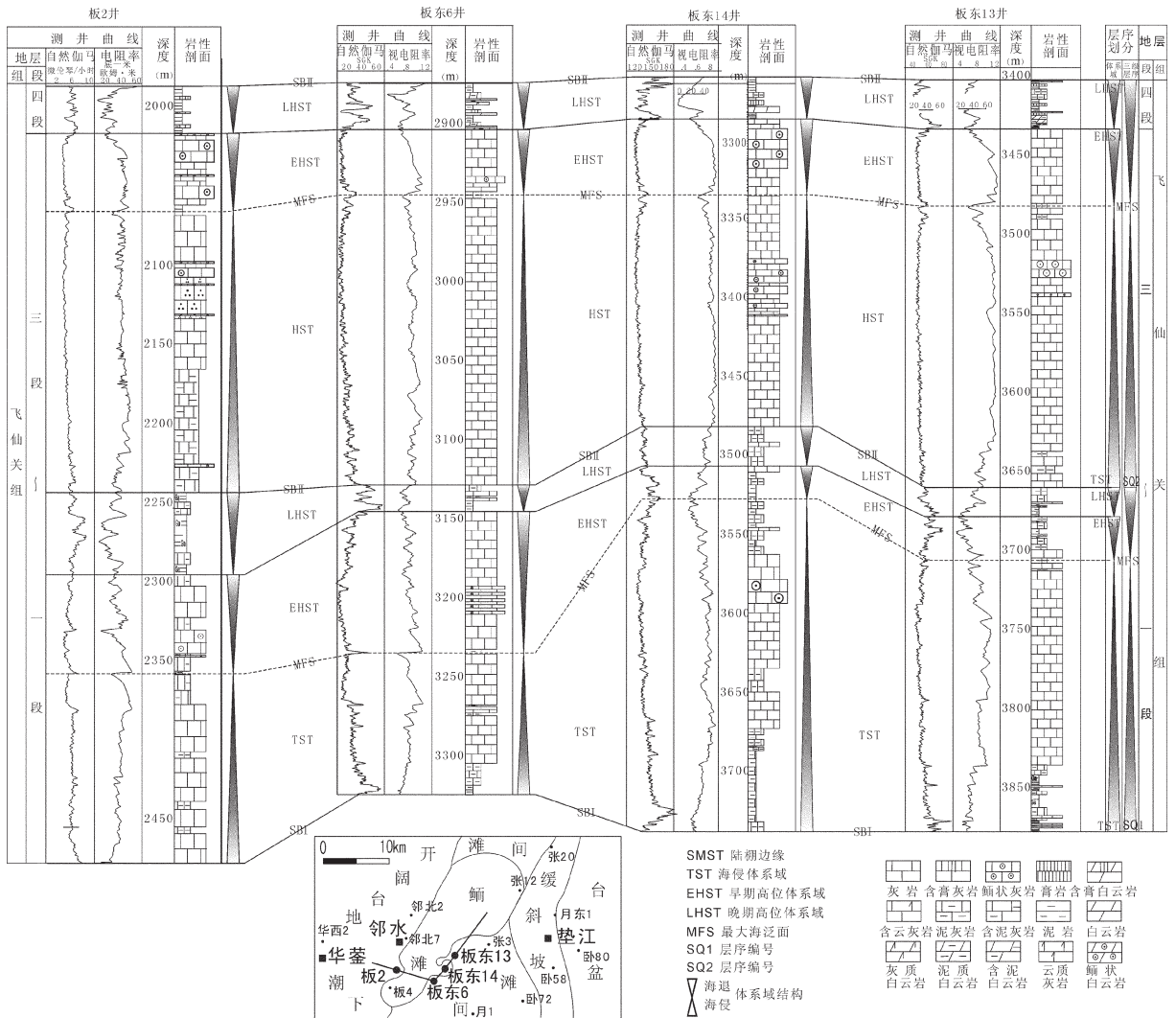


图4 川东-渝北地区下三叠统飞仙关组层序地层对比和地层格架图
 Fig.4 Sequence stratigraphic correlation and framework of Feixianguan Formation in eastern Sichuan-northern Zhongqing area

(EHST)、晚期高位(LHST)3个体系域(图3)。

(1)SQ1-TST 层序-岩相古地理:该体系域相当于飞一段下部,由于晚二叠世长时期沉积受海平面大幅度下降影响,发育有大面积分布的暴露台地残积层。在飞仙关组沉积初期,整个上扬子地区出现了一个缓慢而持续的广泛海侵过程,自西向东水体逐渐加深的变化趋势明显,垂向上由开阔台地、台地边缘浅滩、缓斜坡和台盆相组成连续的海侵沉积序列(图3),平面上呈现开阔台地→台地边缘浅滩→缓斜坡→台盆相带平面上相邻展布的格局(图5-A),各相带都呈北北东-南南西向展布,与区内背斜构造延伸方向一致。其中台盆相带为远洋泥沉积区,

发育在研究区的东南部的长寿和涪陵一带,岩性为灰紫色灰质页岩夹灰黑色泥质灰岩;缓斜坡为低密度浊流沉积区,发育在研究区中部的垫江和重庆一带呈弯曲的带状展布,岩性以褐灰色、深灰色泥-微晶灰岩为主,夹薄层泥质灰岩,灰岩中含少量内碎屑和生物碎屑;开阔台地相带发育在研究区西部广安-渠县一带,岩性以深灰带褐色含泥质灰岩为主,偶夹鲕粒和砂屑灰岩透镜体,或在灰岩中含有少量鲕粒、砂屑和生物屑组分,发育生物钻孔、扰动和水平层理及沙纹层理等沉积构造;台地边缘鲕滩相带发育在相国寺、铜锣峡、邻北和板桥构造一带,呈北北东-南南西向链状延展,岩性为深灰褐色亮晶鲕

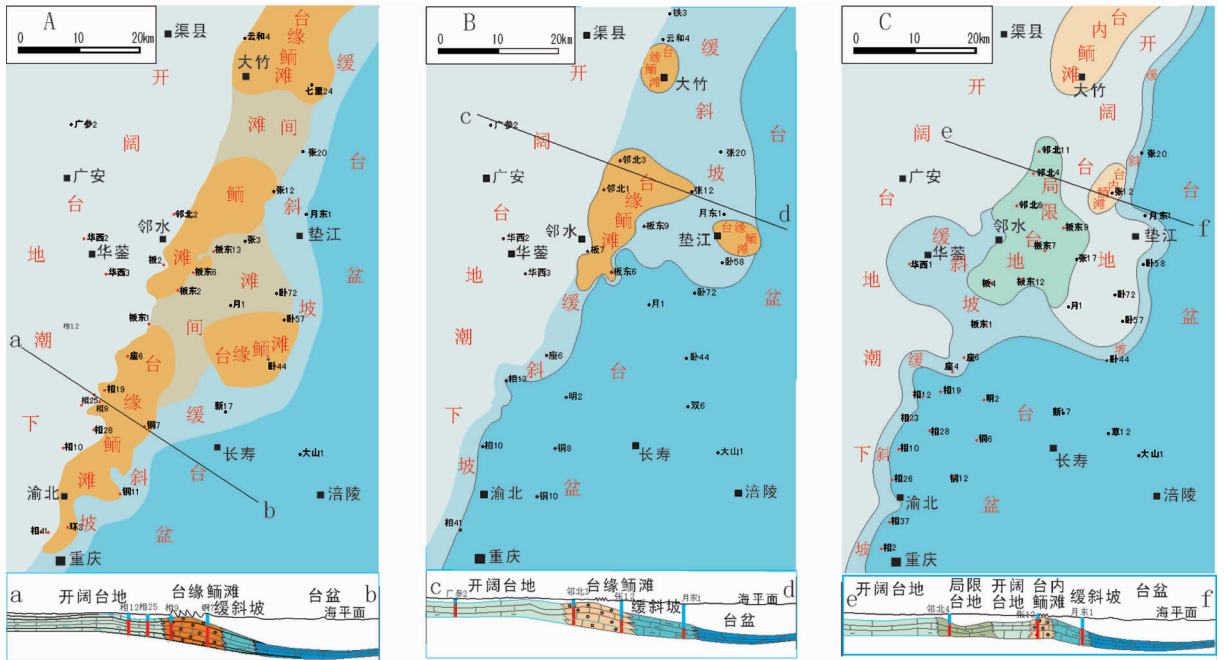


图 5 川东—渝北地区飞仙关组 SQ1 层序岩相古地理略图及沉积模式图

A—海侵体系域;B—早期高位体系域;C—晚期高位体系域

Fig. 5 Lithofacies and palaeogeography and sedimentary model of SQ1 (Feixianguan Age) in eastern Sichuan-Northern Chongqing area

A—TST in SQ1;B—EHST in SQ1;C—LHST in SQ1

粒灰岩、假鲕粒灰岩和少量生物屑灰岩和粉-细晶鲕粒白云岩, 鲕粒的粒径为 0.5~0.7 mm。可分为 4 个鲕滩沉积区, 其一位于靠研究区的南部, 鲕滩呈北北东-南南西向的不规则长条状展布, 宽度为 5~20 km, 长度在 60 km 以上, 面积 750 km² 左右, 厚度为 5~20 m, 平均 10 m。其二位于研究区中部的邻水以东区域, 鲕滩也呈北北东-南南西向的不规则长条状展布, 宽度为 4~25 km, 长度在 40 km 以上, 面积 600 km² 左右, 厚度为 5~20 m, 平均 10 m。其三, 发育在研究区北部大竹地区, 向北延伸至工区外, 鲕滩呈北北东-南南西向宽带状展布, 宽度为 10~30 km, 长度在 30 km 以上, 面积大于 650 km², 厚度 5~40 m, 平均 20 m; 其四, 发育在卧龙河构造一带, 该鲕滩资料较少, 推测宽度为 10~40 km, 长度在 30 km 以上, 面积 440 km² 左右, 厚度为 5~30 m, 平均 20 m。

(2)SQ1-EHST 层序-岩相古地理: 该体系域相当于飞一段上部至飞二段中部, 与前期比较相带展布特征变化不大, 也以发育开阔台地→台地边缘浅滩→缓斜坡→台盆碳酸盐岩相带的展布格局为特征(图 5-B), 但受海平面上升达到最大值后的持续扩张影响, 台盆相带面积扩大, 表现为研究区南部台盆

相由长寿一带向西扩展到川东一带; 缓斜坡相带同步向西迁移, 仍呈不规则的带状北北东-南南西向展布, 在垫江及其以北地区明显加宽; 台地边缘鲕滩沉积大大收缩, 仅发育有 3 个鲕滩, 以发育于邻北—板东构造一带的鲕滩面积较大, 宽度为 5~20 km, 长度在 30 km 以上, 面积 500 km² 左右, 厚度为 5~10 m, 平均 6 m, 为较有利储层发育位置, 而发育在大竹和垫江的 2 个鲕滩的规模都很小; 开阔台地相带位于研究区西部的渝北—华莹—广安—渠县一带, 保持了海侵期沉积的基本特征和格局。

(3)SQ1-LHST 层序-岩相古地理: 该体系域相当于飞二段上部, 此时期受海平面持续下降和可容空间迅速减小影响, 整个川东—渝北地区不仅发育向上变浅的进积序列, 而且还出现开阔台地、缓斜坡和台盆各相带向东方方向同步迁移的展布格局(图 5-C)。向东迁移的台盆相带仍以沉积远洋灰泥为主, 毗邻台盆相带发育的缓斜坡相带大面积收缩呈窄带状展布, 早先北东向延展的台缘鲕滩相带链不复存在, 取而代之的是大幅度扩展的开阔台地相带, 为该时期岩相古地理格局中的优势相带。开阔台地内发育有两处台内鲕滩, 为相对有利储集发育的相带。受

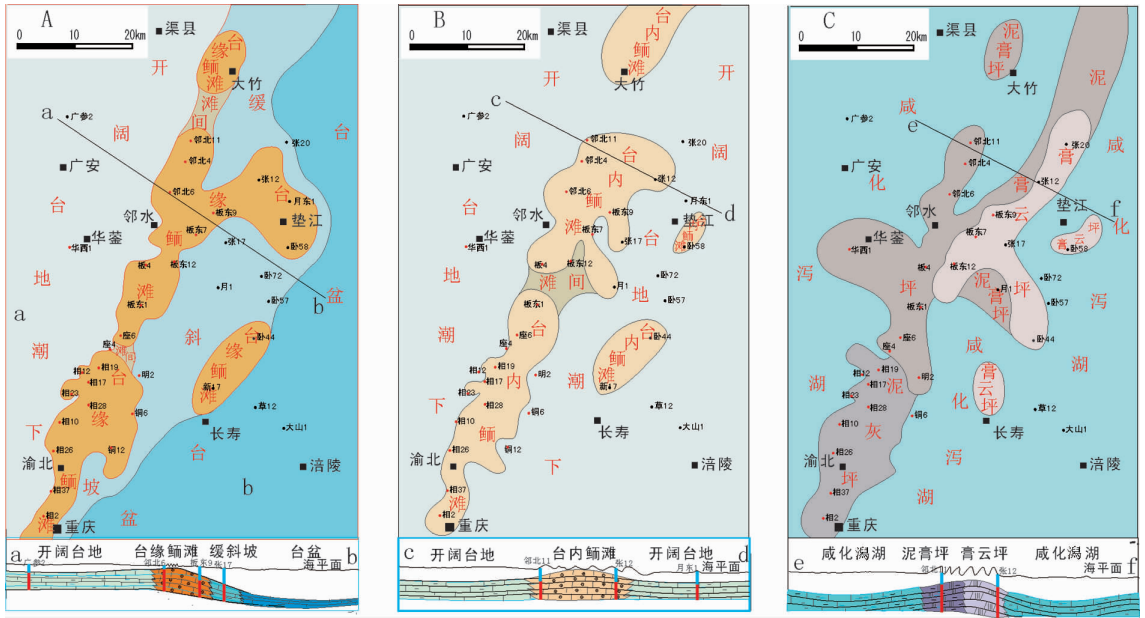


图 6 川东—渝北地区飞仙关组 SQ2 层序岩相古地理略图及沉积模式图

A—海侵体系域;B—早期高位体系域;C—晚期高位体系域

Fig. 6 Lithofacies and palaeogeography and sedimentary model of SQ2 (Feixianguan

Age) in eastern Sichuan—northern Chongqing area

A—TST in SQ2;B—EHST in SQ2;C—LHST in SQ2

继承性沉积高地和海平面大幅度下降影响，前期发育在邻北—板东构造一带的台地边缘鲕滩相带被局限台地潟湖—潮坪相沉积相带。

3.2.2 SQ2 层序—岩相古地理特征

SQ2 层序由飞三段和四段叠加组成，为缺乏陆架边缘体系域的 II 型 III 级层序，以初始海泛面和最大海泛面为界，可划分为海侵 (TST) 和早期高位 (EHST)、晚期高位 (LHST) 3 个体系域 (图 3)。

(1)SQ2-TST 层序—岩相古地理:该体系域对应飞仙关组三段下部，成因与飞三段早期发生的一次广泛的海平面上升有关，垂向上由开阔台地、台地边缘浅滩、缓斜坡和台盆相沉积组成区域性海侵序列，平面上重现开阔台地→台缘浅滩→缓斜坡→台盆相带的展布格局 (图 6-A)，各相带展布和沉积特征与 SQ1-TST 层序—岩相古地理面貌 (图 5-A) 非常相似，其中最为重要的台地边缘鲕滩相带更为发育，于研究区内呈北北东—南南西向的链状展布，可划分为 4 个断续分布的鲕滩沉积区:其一，分布在相国寺—座洞崖以南和铜锣峡、环山地区，向南延伸到工区外，宽度为 5~30 km，长度在 40 km 以上，面积 840 km² 左右，厚度为 5~30 m，平均 20 m;其二分布

在邻水以东至垫江一带，呈不规则的“Y”型带状分布，宽度为 5~60 km，长度在 50 km 以上，面积 1300 km² 左右，厚度为 5~30 m，平均 20 m;其三位于大竹附近，近椭圆状分布，宽度为 5~15 km，长度在 20 km 以上，面积 200 km² 左右，厚度为 5~30 m，平均 20 m;其四出现在长寿以北偏东地区，也呈椭圆状分布，宽度为 5~20 km，长度在 20 km 以上，面积 280 km² 左右，厚度为 5~40 m，平均 20 m。

(2)SQ2-EHST 层序—岩相古地理:该体系域相当于飞仙关组三段上部，该时期因受干旱炎热气候和全球性海平面出现下降影响，水循环开始受限，研究区岩相古地理格局相对海侵期发生强烈改观，特点为原发育于研究区东部大面积的缓斜坡和台盆相带向东北方向大幅度迁移，前期浅水台地与深水台盆相间展布的沉积格局逐渐消失，取而代之的是开阔台地大面积向东扩展，致使整个川东—渝北地区形成单一和面积分布的开阔台地潮下静水泥沉积区，岩性以浅灰褐泥—微晶灰岩和泥灰岩为主，夹少量页岩。在原先发育台地边缘鲕滩的位置上，转化为开阔台地内广泛发育的台内鲕滩 (图 6-B)。台内鲕滩也呈链状呈北北东向延伸展布，岩性以浅灰—深

灰色鲕粒灰岩为主,鲕粒分布不均,局部密集,粒径相对台缘鲕滩要小,为 0.1~0.5 mm,其次为少量砂屑灰岩和生物(屑)灰岩。鲕滩之间发育滩间低能的灰褐色泥质灰岩和灰岩沉积。为有利储层发育相带,可划分为 5 个断续分布和大小不一的沉积区:其一位于北部大竹附近的鲕滩呈椭圆分布,向北延伸出研究区外,宽度为 5~15 km,长度在 20 km 以上,面积 380 km² 左右,厚度为 5~20 m,平均 10 m;其二位于中部邻水以东的鲕滩呈向南不规则分叉分布,宽度为 5~30 km,长度在 40 km 以上,面积 950 km² 左右,厚度为 5~20 m,平均 15 m;其三位于南部的鲕滩呈北北东向带状展布,覆盖了相国寺、座洞崖、铜锣峡和环山地区,向南延伸出研究区外,宽度为 10~20 km,长度在 60 km 以上,面积 900 km² 左右,鲕滩厚度为 5~20 m,平均厚度约 15 m;其四位于长寿北偏东一侧鲕滩呈椭圆状分布,规模较小,宽度为 5~20 km,长度在 20 km 以上,面积 250 km² 左右,厚度为 5~20 m,平均 10 m;(图 1);其五位于垫江东南侧,呈规模很小的椭圆状,面积不足 50 km²,厚度小于 8 m。

(3)SQ2-LHST 层序—岩相古地理:该体系域相当于飞仙关组四段,也是整个川东—渝北地区处于全球性三级海平面大幅度下降期,前期的起伏沉积地貌基本被填平。又由于该时期气候极度干旱炎热,海平面大幅度下降和水循环受限,整个上扬子地区演变为局限—蒸发台地环境(图 6-C)。仅就川东—渝北地区而言,区域沉积以发育潮坪、泻湖相沉积为主,两相带呈东西向相间、南北向延伸的展布格局,岩性以深灰色薄层泥—微晶灰岩、泥质云岩,浅灰色云膏岩和灰白色石膏层不等厚互层为主,夹暗紫色泥灰岩和页岩,潮汐层理丰富,偶见干裂及雨痕构造,需指出的是,代表蒸发台地萨勃哈环境的云膏岩和石膏层沉积,主要发育在相当前期台地边缘鲕滩或台内鲕滩的位置上,显示川东—渝北地区,乃至整个上扬子地区飞仙关期的沉积高地具有继承性发育演化的特点。该时期发育的诸沉积微相虽然都不利于储层发育,但广泛的薄层泥—微晶灰岩、泥质云岩、云膏岩和石膏层沉积,为油气藏的保存提供了极其重要的区域性盖层,特别是继承性沉积高地上的云膏岩和石膏层沉积区,不仅为高陡背斜构造带的油、气圈闭提供了更有效的区域性盖层,且为后期形成与 TSR 作用有关的高效储层提供了物质基础^[19]。

4 认识与结论

通过上述川东—渝北地区飞仙关组层序—岩相古地理特征研究,有如下几点新认识:

(1)早三叠世飞仙关沉积期川东—渝北地区发育有两次较大规模的海平面升降旋回,形成两个三级沉积层序,分别为飞一、二段叠加组成的 SQ1 I 型层序和飞三、四段叠加组成的 SQ2 II 型层序。

(2)鲕滩相带是构成邻水—渝北地区各层序—岩相古地理格局的优势相,也是飞仙关组最重要的储集相带之一。飞仙关组具有产能的钻井主力产层都处于有利储层发育的鲕滩相带中,包括台缘鲕滩和台内鲕滩两种类型,研究区内飞仙关组 SQ1-TST、SQ2-TST 和 SQ2-EHST 3 个体系域中所发育的台缘和台内鲕滩相带,特别是强烈埋藏白云岩化的鲕滩相带应成为今后的勘探重点。

(3)SQ2-LHST 时期,广泛发育的局限—蒸发台地相沉积,为飞仙关组天然气藏的形成和保存提供了极其重要的第一套区域性致密盖层,其中继承性发展演化的沉积高地上的云膏岩和石膏层沉积区,不仅为高陡背斜构造带的油、气圈闭提供了更有效的区域性盖层条件,而且为后期形成与 TSR 作用有关的高效储层提供了物质基础。

参考文献(References):

- [1] 蔡勋育, 马永生, 李国雄, 等. 普光气田下三叠统飞仙关组储层特征[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2005, 27(1):43-45.
Cai Xunyu, Ma Yongsheng, Li Guoxiong, et al. Reservoir characteristics of Feixianguan in Puguang gas field [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 27(1):43-45 (in Chinese with English abstract).
- [2] 冯仁蔚, 王兴志, 张帆, 等. 四川盆地东北部下三叠统飞一—飞三段孤立碳酸盐岩台地沉积相及相关研究 [J]. 中国地质, 2008, 35(1):54-66.
Feng Renwei, Wang Xingzhi, Zhang Fan, et al. Sedimentary facies of isolated carbonate platform of the first to third members of the Lower Triassic Feixianguan Formation in the northeastern part of the Sichuan basin and other related aspects [J]. Geology in China, 2008, 35(1):54-66 (in Chinese with English abstract).
- [3] 马永生, 牟传龙, 郭彤楼. 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.
Ma Yongsheng, Mu Chuanlong, Guo Tonglou, et al. Sequence stratigraphy and reservoir distribution of the Changxing Formation in northeastern Sichuan Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 25(4):73-79 (in Chinese with English abstract).

- [4] 马永生. 四川盆地普光超大型气田的形成机制[J]. 石油学报, 2007, 28(2):9-14.
Ma Yongsheng. Generation mechanism of Puguang Gas Field in Sichuan Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28 (2):9-14 (in Chinese with English abstract).
- [5] 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):5-11.
Peng Ping, Wen Min, Meng Lin. Influences over reservoir spreading characteristics by sedimentation models of Feixianguan Formation in east Sichuan region. [J]. Natural Gas Exploraiton & Devleopment, 2004, 27(2):5-11(in Chinese with English abstract).
- [6] 苏立萍, 罗平, 罗忠, 等. 川东北飞仙关组鲕粒滩储层特征研究[J]. 天然气工业, 2005, 25(6):14-17.
Su Liping, Luo Ping, Luo Zhong, et al. Characteristics of Feixianguan Formation oolitic shoal reservoirs in northeast Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(6):14-17(in Chinese with English abstract).
- [7] 王一刚, 刘划一, 文应初, 等. 川东北飞仙关组鲕滩储层分布规律. 勘探方法与远景预测[J]. 天然气工业, 2002, 22(增刊):14-19.
Wang Yigang, Liu Huayi, Wen Yingchu, et al. Distribution law, exploration method and prospectiveness prediction of the oolitic beach reservoirs in Feixianguan Formation in northeast Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2002, 22:14-19 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王一刚, 张静, 刘兴刚, 等. 四川盆地东北部下三叠统飞仙关组碳酸盐蒸发台地沉积相[J]. 古地理学报, 2005, 7(3):357-372.
Wang Yigang, Zhang Jing, Liu Xinggang, et al. Sedimentary facies of evaporative carbonate platform of the Feixianguan Formation of Lower Triassic in northeastern Sichuan Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(3):357-372(in Chinese with English abstract).
- [9] 赵文智, 汪泽成, 王一刚. 四川盆地东北部飞仙关组高效气藏形成机理[J]. 地质论评, 2006, 52(5):708-718.
Zhao Wenzhi, Wang Zecheng, Wang Yigang. Formation mechanism of highly effective gas pools in the Feixianguan Formation in the NE Sichuan Basin [J]. Geological Review, 2006, 52(5):708-718 (in Chinese with English abstract).
- [10] 高梅生, 郑荣才, 文华国, 等. 川东北下三叠统飞仙关组白云岩成因——来自岩石结构的证据[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2007, 34(3):297-304.
Gao Meisheng, Zheng Rongcai, Wen Huaguo, et al. Lithological characteristics of dolomite in the Lower Triassic Feixianguan Formation of the NE Sichuan Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2007, 34(3):297-304 (in Chinese with English abstract).
- [11] 魏国齐, 陈更生, 杨威, 等. 覆盖区碳酸盐岩层序界面的识别——以川北下三叠统飞仙关组为例 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(6):68-71.
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]. Petroleum exploration and development, 2006, 27 (1):99-105 (in Chinese with English abstract).
- [12] 李国军, 郑荣才, 唐玉林, 等. 川东北地区飞仙关组层序-岩相古地理特征[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(4):64-70.
Li Guojun, Zheng Rongcai, Tang Yulin, et al. Sequence-based lithofacies and paleogeography of lower Triassic Feixianguan Formation in northeastern Sichuan basin [J]. Lithologic Reservoirs. 2007, 19(4):64-70 (in Chinese with English abstract).
- [13] 牟传龙, 许效松, 林明. 层序地层与岩相古地理编图——以中国南方泥盆纪地层为例[J]. 沉积与特提斯地质, 1992, 12(4):1-9.
Mu Chuanlong, Xu Xiaosong, Lin Ming. Sequence stratigraphy and compilation of lithofacies and palaeogeographic maps -an example from the Devonian strata in southern China [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 1992, 12 (4):1-9 (in Chinese with English abstract).
- [14] Read J E. Carbonate platform facies moddles [J]. AAPG BUL, 1985, 69(1):1-21.
- [15] 郑荣才, 耿威, 郑超, 等. 川东北地区飞仙关组优质白云岩储层成因研究[J]. 石油学报, 2008, 29(6):815-821.
Zheng Rongcai, Geng Wei, Zheng Chao, et al. Genesis of favorable dolomite reservoirs in Feixianguan Formation in Northeast Sichuan [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29 (6):815-821 (in Chinese with English abstract).
- [16] 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).
- [17] 杨威, 魏国齐, 金惠, 等. 川东北飞仙关组鲕滩储层成岩作用和孔隙演化[J]. 中国地质, 2007, 34(5):822-828.
Yang Wei, Wei Guoqi, Jin Hui, et al. Diagenesis and pore evolution of the oolitic shoal reservoir in the Feixianguan Formation in northeastern Sichuan [J]. Geology in China, 2007, 34(5):815-821 (in Chinese with English abstract).
- [18] 雷卞军, 唐楷, 邓超, 等. 四川广安市响水飞仙关组剖面特征及地质意义[J]. 中国地质, 2007, 34(1):66-72.
Lei Bianjun, Tang Kai, Deng Chao, et al. Characteristics of the section of the Feixianguan Formation at Xiangshui village, Guang'an, Sichuan, and its geological significance [J]. Geology in China, 2007, 34(1):66-72 (in Chinese with English abstract).
- [19] 朱光有, 张水昌, 梁英波, 等. 川东北飞仙关组高含 H₂S 气藏特征与 TSR 对烃类的消耗作用[J]. 沉积学报, 2006, 24 (2):300-308.
Zhu Guangyou, Zhang Shuichang, Liang Yingbo, et al. Characteristics of gas reservoirs with high content of H₂S in the Northeastern Sichuan Basin and the consumption of hydrocarbons due to TSR [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24 (2):300-308. (in Chinese with English abstract).

Sequence-based lithofacies and paleogeography of Lower Triassic Feixianguan Formation in eastern Sichuan and northern Zhongqing area

DAI Li-guo¹, ZHENG Rong-cai¹, LI Shuang², ZHENG Chao², HU Zhong-gui¹

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Chongqing Gas District of Southwest Oil and Gas Company of CNPC, Chongqing 400021, China)

Abstract: The Lower Triassic Feixianguan Formation in northeast Sichuan can be divided into two third-order sequences and six system tracts in terms of sedimentary facies and sequence interfaces. Characteristics of sequence stratigraphy of the Feixianguan Formation were analyzed and sequence-palaeogeography maps were compiled. It is indicated that, influenced by regional tectonic uplifting of the Late Permian Changxing Stage in the study area during the development of SQ1 sequence, the product was formed in a regional slow transgression-regression depositional environment. The seawater that had been once deep and open became shallow, the depositional evolution changed from basin facies to open-platform facies which almost formed the platform edge or inner oolitic bank. In the second deposition of the third-order sequence cycles (SQ2), due to arider and hotter climate, sea level falling and water cycle limiting, the sedimentary facies turned into the restricted platform and evaporate platform facies, and the oolitic bank disappeared gradually. Finally, the sedimentary facies was converted to evaporate platform in which gypsum dolomite was developed. The gypsum dolomite served as an important sealant in the Feixianguan Formation, and the brine saved in the same time was helpful to the burial dolomitization in the oolitic bank to form high quality reservoirs in the Feixianguan Formation.

Key words: Feixianguan Formation, Lower Triassic; sequence stratigraphy; sedimentary facies and palaeogeography; oolitic bank; eastern Sichuan-northern Chongqing area

About the first author: DAI Li-guo, male, born in 1981, master candidate, engages in the study of sedimentary geology, sequence stratigraphy and petroleum geology; E-mail: daocheng2008@hotmail.com.