

文章编号: 1000-0550(2010) 03-0462-09

# 川东北地区飞仙关组层序地层特征及演化模式

乔占峰<sup>1</sup> 李国蓉<sup>2</sup> 龙胜祥<sup>3</sup> 姜忠正<sup>2</sup> 胡文燕<sup>2</sup> 李文茂<sup>2</sup>

(1 中国石油杭州地质研究院 杭州 310023; 2 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室 成都 610059;  
3 中国石油化工股份有限公司 勘探开发研究院 北京 100083)

**摘要** 在对川东北地区飞仙关组沉积构造背景认识的基础上,采用野外露头、岩心、测井及地震剖面等多种分析手段,通过对层序界面、相序、叠置结构、测井曲线及地震层序等标志的综合识别分析,将川东北地区飞仙关组划分为 2 个三级层序,认识到它们都发育有低位体系域、海侵体系域和高位体系域。进一步,通过层序地层格架剖面的建立,运用层序地层原理,在对层序地层控制因素分析的基础上,建立了川东北地区飞仙关组层序地层演化模式,从层序演化的角度上探讨了滩体的发育分布规律,对于下一步的油气勘探具有重要指导意义。

**关键字** 川东北地区 飞仙关组 层序地层 演化模式

**第一作者简介** 乔占峰 男 1983 年出生 工程师 层序地层学和储层研究 E-mail: qiaozhf\_h@petrochina.com.cn  
**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

随着普光、通南巴、龙岗等地飞仙关组鲕滩地层大型、特大型气藏的发现,川东北地区飞仙关组彰显巨大的天然气勘探潜力。国内外大量研究证明,层序地层为这一领域研究的有效方法,因此对该地区飞仙关组进行系统的层序地层研究是相当必要的。近些年来前人对该地区飞仙关组进行了一定程度的层序地层研究<sup>[1-3]</sup>,但是在划分标志及方案等多方面存在差异,制约了更深入的研究。本文将通过多方面的证据对该地区飞仙关组层序地层进行系统分析。

## 1 川东北地区飞仙关组构造沉积背景

中国南方大陆受局部构造运动影响与全球海平面变化有所差异<sup>[4]</sup>,震旦纪到三叠纪期间,经历了两次大陆裂解—大洋扩张—大陆汇聚的旋回,形成两个沉积构造旋回,对应两个一级层序的演化,飞仙关组的沉积位于第二个旋回的中后期,即:泥盆纪到石炭纪勉略古洋盆的打开并扩张—晚二叠世的扩张高峰—中三叠世末古特提斯洋关闭旋回中<sup>[5]</sup>,属于晚二叠世剧烈扩张运动之后的构造平缓期。同时,位于晚二叠世—中三叠世构成的二级层序中<sup>[6-9]</sup>。该二级层序顶底界面分别被印支运动和东吴运动形成的区域性构造不整合面所限定,上二叠统吴家坪组(龙潭组)和长兴组(大隆组)构成该二级层序的海侵体系域,持续海侵导致陆相沉积范围逐渐缩小,向康滇古陆后退;中下三叠统构成高位体系域,海平面持续

下降,最后受印支运动影响,区域抬升成陆,该二级层序结束。飞仙关组沉积于该二级层序高位早期,处于被动大陆边缘演化阶段,沉积格局继承了长兴期末“两台两槽”特征,以向碳酸盐岩大台地演化为主要特征<sup>[5]</sup>。

## 2 川东北地区飞仙关组三级层序地层特征

本文在前人研究的基础上,将川东北地区飞仙关组划分为 2 个三级层序,称之为下层序和上层序。

### 2.1 川东北地区飞仙关组层序地层划分标志

层序地层的定义及发育特征,是其划分方法的主要依据,层序为由不整合面或者与其可对比的整合面限定的一套成因上有联系的、相对整合的地层<sup>[10]</sup>。因此,层序界面(不整合面)、叠置结构(成因上有联系)、测井曲线旋回及地震层序等标志就成为层序地层划分的主要方法及思路。

#### ①层序界面标志

层序界面上下沉积物沉积环境存在两种突变的情况:一是台地相区,表现为由浅突然变深,二是深水陆棚—盆地相区,表现为由深突然变浅,导致层序界面上下的物质表现差异明显(如表 1、2 和 3)。表中清楚地显示出层序界面处不同沉积背景下沉积环境的变化特征。

①国家科技重大专项(编号:2008ZX05004-002)资助

收稿日期:2009-02-16 收修修改稿日期:2009-05-06

表 1 下层序底 (飞仙关组底 界面物质表现特征表

Table 1 The characteristics of the bottom surface of the lower sequence

相区	台地内部	台地边缘	陆棚	盆地
界面上 (飞仙关组底)	泥灰岩—灰岩	泥灰岩—灰岩	泥灰岩—灰岩	泥灰岩—灰岩
界面下 (长兴组顶)	灰岩—云质灰岩	礁云岩、云质灰岩	粉—微晶云岩	硅质岩—泥灰岩
典型井和剖面	Pg3 4、10等	Pg6 8 M b3井; lg1井; 二郎庙剖面	普光 2井	龙 4井、雷西 1井等
				旺苍剖面、上寺剖面等

表 2 上层序底 (飞二段与飞三段 界面物质表现特征表

Table 2 The characteristics of the bottom surface of the upper sequence

相区	台地内部	台地边缘	陆棚	盆地
界面上 (飞三底)	微晶灰岩	微晶灰岩	微晶灰岩 (主)、鲕粒云岩	泥灰岩—灰岩
界面下 (飞二顶)	微晶云岩、石膏	鲕粒云岩	(残余) 鲕粒云岩粉—微晶云岩	泥灰岩
典型井和剖面	罗家寨各井	lg1 井; 二郎庙剖面	普光各井	河坝 1井龙 4井等
				旺苍剖面、上寺剖面

表 3 上层序顶 (飞仙关组与嘉陵江组 界面物质表现特征表

Table 3 The characteristics of the top surface of the upper sequence

地区	宣汉、巴中、通南巴	旺苍—广元上寺—二郎庙	川南
界面上 (嘉一段底)	中—薄层状微晶灰岩, 开阔潮下相		
界面下 (飞四段顶)	深灰色泥灰岩或膏质灰岩及石膏, 半局限泻湖	紫红色泥页岩, 潮坪相	紫红色泥页岩, 潮坪相

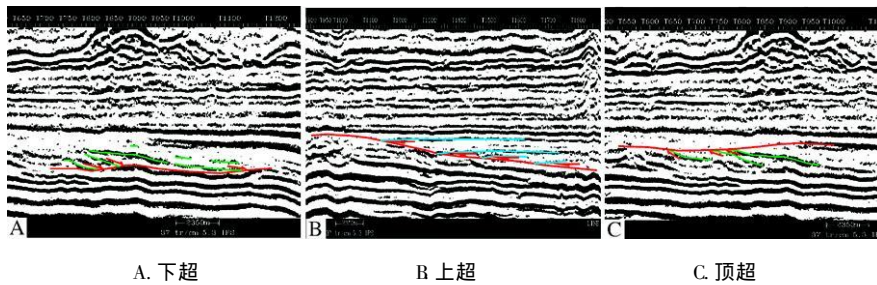


图 1 地震剖面上层序界面表现类型

Fig 1 The pattern of the sequence surfaces in the seismic section

另外, 地震剖面上的不整合界面也可以直观地表现层序界面 (如图 1)。最大海泛面之上表现为下超 (台缘—陆棚区) (如图 1-A), 层序底界面常表现为上超 (斜坡区) (如图 1-B) 和下超 (斜坡—陆棚区), 层序顶界面常表现为顶超 (台地—台缘区) (如图 1-C)。

②相序特征

相序变化是相对海平面变化的直接表现, 也是层序划分的重要依据。川东北地区飞仙关组沉积相演化特征为: 飞一段—飞二段沉积时期继承了长兴组沉积时期在拉张背景下形成的镶边台地特征, 并延续到了飞三段沉积早期, 到飞三段沉积晚期陆棚被填平, 川东北地区演化为一个大型的陆表海台地。其中, 台地相区总体表现出两个由开阔台地到局限台地演化旋回, 台缘相区也反映出了两个水体由深变浅的旋回, 而深水相区, 虽相序表现不明显, 但是水体由浅到深的两个旋回比较清楚, 为两个三级层序演化的相序

特征。



图 2 二郎庙剖面飞三段退积叠置结构图

Fig 2 The picture of the degradational stacking structure in the 3rd section of the Feixianguan Formation in Erlangmiao outcrop

③叠置结构标志

在不同的基底沉降、台地类型、沉积相带演变等条件下,层序演化不同阶段海平面变化的差异性,导致其沉积物响应有所不同,表现在叠置结构的差异之上。川东北地区飞仙关组沉积时期为被动大陆边缘背景,总体构造稳定,基底沉降全区总体相对均衡,台地类型变化较大,经历了镶边台地向陆表海台地的转变,对应的沉积模式由“进积楔”模式转变为“加积片”模式,导致叠置类型差异较大;不同沉积相带,碳酸盐生长方式和生长率不同,也直接导致叠置类型不同;此外,层序演化不同阶段,海平面变化特征不一样,也是导致叠置结构类型不同的主要因素。由以上各因素综合作用,导致层序演化过程中,低位体系域以进积叠置结构类型为主,海侵体系域以退积叠置结构类型(如图 2 二郎庙剖面中层厚变化构成的退积叠置结构)为主,高位体系域常为进积(如图 3)和加

积叠置结构类型。

④测井曲线旋回标志

碳酸盐岩中泥质含量对海平面变化具备良好的响应特征,结合测井曲线对泥质含量完美的识别能力,可以通过测井曲线很好地分析层序地层。在不同的沉积环境中泥质含量对海平面变化的响应特征不同。陆棚区及开阔台地水体相对较深,岩性较单一,无法通过岩石组合类型来判别其叠置结构类型,但是测井曲线上有较好的显示,自然伽马曲线总体表现为由高到低的过程,这是由于水体深度变化时影响碳酸盐岩生长率,在海平面高频波动的突然上升期间,由于海水突然变深,抑制碳酸盐岩生长,海水中的悬浮泥质更多地进入碳酸盐岩当中,随后碳酸盐岩恢复生长,相对海平面逐渐变浅,泥质含量逐渐减少而造成的;而浅水受限环境恰恰相反,泥质含量增加代表了环境受限的过程,如泻湖—潮坪相,这样的旋回下,泥质含

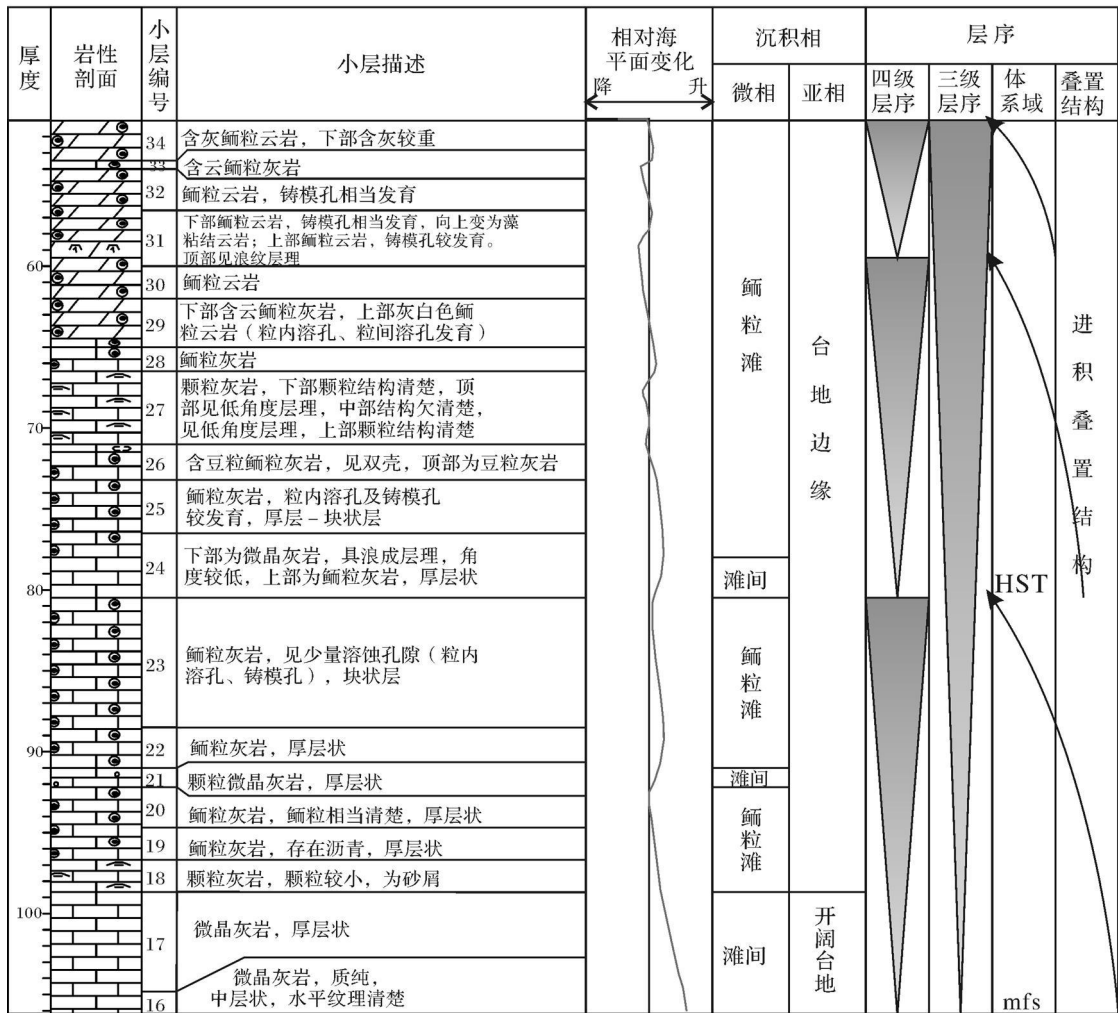


图 3 二郎庙剖面飞二段进积叠置结构图

Fig 3 Them ap of the progradational stacking structure in the 2nd section of the

Feixianguan Formation in Erlangmiao outcrop

量是向上增加的, 自然伽马曲线总体表现为有低到高的过程。

⑤地震层序标志

地震剖面可以在反射界面的限定下通过同相轴组合方式直观地反映地质体内部结构, 并进一步对层序及体系域进行划分(如图 4)。由图中可以看出, 位于开江—梁平陆棚西侧的巴中地区飞仙关组下层序高位体系域的前积(顶超—下超)特征明显, 上层序低位体系域的前积(上超—下超)特征明显, 且上层序高位体系域表现出的加积特征非常明显。

通过以上三级层序和体系域划分标志的综合考虑, 结合川东北地区飞仙关组沉积格局特征、各相区岩性剖面结构以及相序特征分析, 对川东北地区飞仙关组进行了三级层序和体系域划分及对比, 划分为 2 个三级层序, 且均发育有低位体系域、海侵体系域和高位体系域。

2.2 川东北地区飞仙关组层序地层格架特征

在对沉积格局和沉积演化模式认识的基础上, 运用层序地层学原理, 在单井层序地层纵向演化分析过程中进行横向对比, 建立了川东北地区飞仙关组层序地层格架(如图 5)。该跨陆棚层序格架剖面很好地

反映了川东北地区台地—陆棚的演化过程。下层序之初, 台地区未接受沉积, 于陆棚区沉积了低位体系域, 且表现出西边发育范围广、攀升高、厚度薄, 东边范围窄、厚度大的特征; 海侵体系域全区厚度相近; 高位体系域期间, 台地边缘鲕粒滩大量发育, 厚度最大, 形成镶边型台地, 盆地—陆棚区沉积厚度小。上层序低位体系域发育分布范围有所缩小; 海侵体系域期间, 台地和陆棚的差异已较小; 高水位体系域期间台地均一化, 整个台地具陆表海台地性质, 横向上具有良好的可比性。

2.3 川东北地区飞仙关组层序地层特征

各层序及体系域特征具有很强的规律性, 具体特征见表 4。上下层序低位体系域均主要发育泥灰岩和灰岩, 另见颗粒流沉积, 具粒序特征; 海侵体系域全区以泥灰岩和微晶灰岩为主, 台地边缘局部地区可发育颗粒岩, 下层序该体系域盆地深水特征明显, 见菊石化石, 以深灰色、灰绿色及黄灰色泥岩为主; 上、下层序的高位体系域特征差异较大, 下层序高位体系域以台地边缘及台内颗粒岩发育为主要特征, 上层序高位体系域总体以半局限泻湖相泥灰岩和膏质灰岩与潮坪相紫红色泥云岩为主。

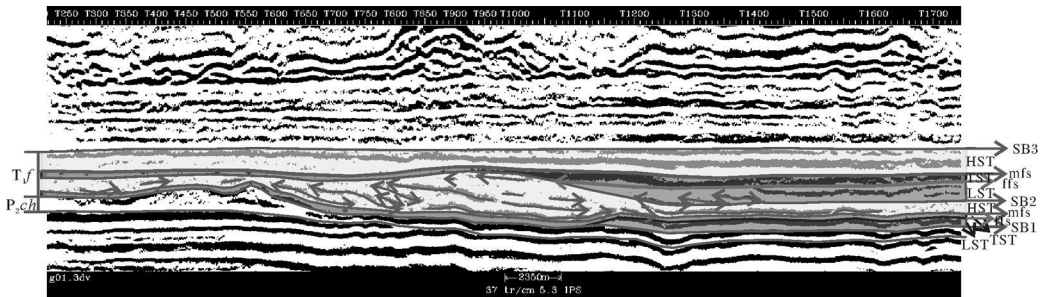


图 4 巴中地区南北向地震层序解释图

Fig 4 The map of the seismic sequence stratigraphy at N—S in the Bazhong area

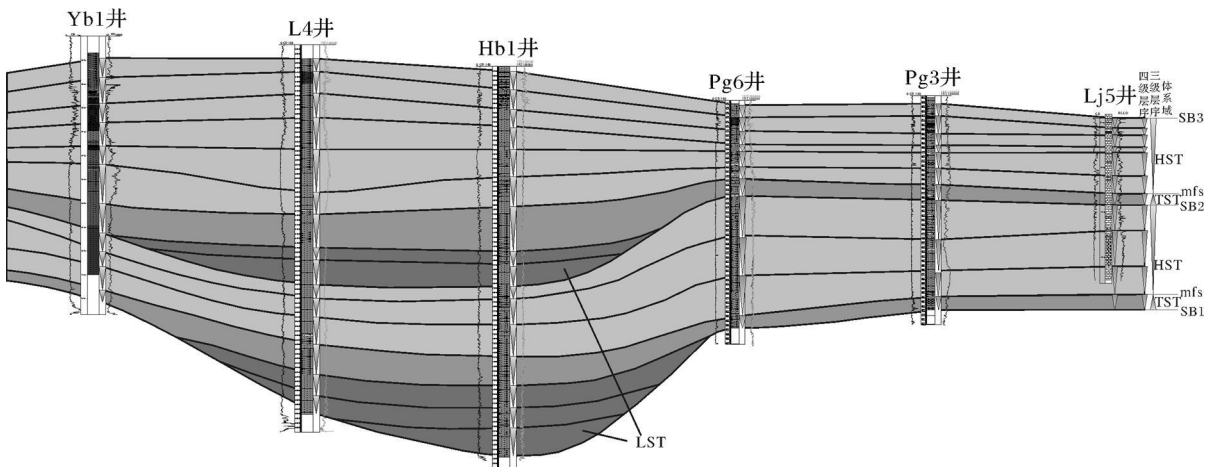


图 5 川东北地区飞仙关组三级与四级层序地层格架图

Fig 5 The framework of the 3rd and 4th sequence stratigraphy of the Feixianguan Formation in the northeast of the Sichuan Basin

表 4 川东北地区飞仙关组三级层序及体系域发育特征表

Table 4 The characteristics of the 3rd sequence stratigraphy and systems tract of the Feixianguan Formation in the northeast of the Sichuan Basin

相区	台地内部	台地边缘	陆棚	盆地		
泻湖相深灰色泥灰岩和膏质灰岩与潮坪相紫红色泥云岩为主, 西部和北部主要发育潮坪相紫红色泥岩						
HST	灰岩和石膏为主,	泥灰岩和微晶灰岩	灰岩、粉微晶云岩及少量粒屑灰岩和粒屑云岩	泥灰岩 $\rightarrow$ 灰岩 $\rightarrow$ 鲕粒灰岩 $\rightarrow$ 藻粘结灰岩		
S <sub>上</sub>	TST	泥灰岩和灰岩	中—薄层微晶灰岩, 层厚变化构成旋回	灰岩和云岩互层, 向上灰岩比例增加	泥灰岩和微晶灰岩	泥灰岩和微晶灰岩
	LST			泥灰岩和微晶灰岩	暗紫色泥岩夹泥灰岩和鲕粒灰岩	
HST	灰岩、鲕粒云岩、石膏和粉微晶云岩, 200 m	鲕粒灰岩和鲕粒云岩, 约 60 m	灰岩、鲕粒云岩, 晶粒云岩, 150~450 m	深灰色泥灰岩和紫灰色、灰色微晶灰岩, 约 130 m	暗紫色泥页岩, 约 20 m	
S <sub>下</sub>	TST	泥灰岩和灰岩	中—厚层状微晶灰岩, 层厚变化构成旋回	泥灰岩 $\rightarrow$ 微晶灰岩 $\rightarrow$ 鲕粒云岩; 泥灰岩 $\rightarrow$ 灰岩	泥灰岩或微晶灰岩, 自然伽马高	深灰色、灰绿色及黄灰色泥岩, 菊石
	LST			泥灰岩和微晶灰岩	中—薄层泥灰岩和灰岩	
典型井和剖面	罗家寨各井	二郎庙剖面	普光各井	河坝 1、龙 4 井	旺苍、上寺剖面	

### 3 川东北地区飞仙关组层序地层控制因素分析及层序地层演化模式

#### 3.1 川东北地区飞仙关组层序地层控制因素探讨

川东北地区飞仙关组层序地层在演化的过程中受到多种因素的影响, 包括构造、海平面变化、气候等, 严格控制着层序地层的表现形式。

##### A 构造

飞仙关组时期, 川东北地区构造总体不活跃, 对层序地层演化的影响只表现在基底沉降方面。该地区在飞仙关组沉积之前发育多条基底断裂, 如开江—梁平陆棚和城口—鄂西陆棚下方都存在比较大的断裂, 其中开江—梁平陆棚东边台地两侧都受断裂控制, 西边台地只受一条断裂控制, 在沉积物聚集过程中, 沉积物负荷增加, 导致陆棚东边台地具有更高的沉降速率, 图 7 中显示的陆棚东边台地飞仙关组下层序厚度明显较陆棚西侧台地大即为证据。此外, 地震层序地层分析得知, 下层序高位体系域期间, 西侧台地边缘(巴中地区)演化以前积为主, 而东侧台地边缘(普光地区)以加积为主, 也反映可容纳空间变化存在差异。

##### B 海平面变化

全球海平面变化与基底沉降速率综合表现的相

对海平面变化是层序地层演化的主要控制作用, 主要表现在两个方面, 即: 层序界面的类型和层序内部结构特征。

飞仙关组下层序顶底界面都为 I 型界面, 代表海平面下降速率大于基底沉降速率, 表现在台地大部地区要经历暴露, 发生岩溶作用, 通江地区椒树塘剖面飞二段顶部即明显表现为一个 I 型暴露界面; 飞仙关组上层序顶界面为岩性—岩相转换面, 飞仙关组顶部发育石膏保存良好, 未发现有明显的暴露剥蚀特征, 反映海平面下降速率小于或等于基底沉降速率。

Rollins 和 Donahue (1975) 指出海平面升降旋回变化相当复杂。三级海平面升降旋回受二级海平面变化控制明显, 二级海侵期间三级海平面常表现为长期缓慢海侵—快速海退; 二级海退期三级海平面则常表现为快速海侵—长期缓慢海退。海平面升降旋回直接控制着层序内部结构特征和沉积物类型。川东北地区飞仙关组沉积于二级层序海退期, 下层序沉积时期海平面总体高于上层序, 造成两个三级层序间碳酸盐岩比例逐渐减小, 陆源物质影响逐渐加大, 到飞仙关组末期受陆源控制的潮坪相紫红色泥岩已推进到旺苍—上寺—南充—重庆一线。此外, 海平面变化具快速海侵—缓慢海退特征, 以海退为主旋律, 导致两个三级层序的海侵体系域厚度明显小于高位体系



域。

C 气候

气候对层序地层的控制作用表现在以下几方面:

一、沉积物类型; 二、高频层序表现形式; 三、层序界面特征, 等。

潮湿气候以碳酸盐沉积为主; 干旱气候背景下, 硫酸盐和盐岩比重增加。飞仙关组两个层序演化过程中, 下层序主要表现为潮湿气候, 以灰、云岩为主, 孤立台地区由于台地边缘的障壁作用, 台地内部发育少量石膏(罗家寨等地区); 上层序气候相对较为干旱, 从高位早期就开始发育石膏, 反映了气候变干旱对层序内沉积物组合类型的控制作用。

气候条件的差异导致向上变浅序列中岩性结构的不同, 如潮湿气候下较深水的泥灰岩—灰岩旋回, 干旱气候下则可能为灰岩—泥灰岩(常含石膏斑点)旋回, 此外, 干旱气候下高频层序岩性结构类型更为复杂<sup>[11]</sup>, 可包含多种岩石类型旋回。

气候对层序界面处大气水环境的岩—水反应具有重要的控制作用, 干旱气候不利于溶蚀作用的发生。该地区飞仙关组下层序顶界面附近溶蚀作用的强烈发生, 与上层序顶界面附近易溶石膏的完好保存, 从某种程度上说明了这个问题。

3 2 川东北地区飞仙关组层序地层演化模式

通过对川东北地区飞仙关组层序地层的研究及其控制因素的探讨, 建立了该区飞仙关组层序地层演化模式(如图 6 和 7)。

冯增昭等通过对中国南方二、三叠系之间的岩性、古生物、地球化学资料研究认为, 中国南方大部分地区二、三叠系之间为整合接触, 二者之间的沉积过程是连续的<sup>[12, 13]</sup>。川东北地区飞仙关组沉积继承了长兴组末期的特征, 物源主要受西南方向的康滇古陆控制, 长兴组时期的拉张运动形成了川东北地区两槽—两台的格局特征, 飞仙关组以此特征开始, 在稳定的被动大陆边缘背景下开始发育。

A 下层序低位体系域

飞仙关组从海平面低位期开始发育, 此时只在盆地相区和陆棚相区接受沉积, 以发育薄层状泥灰岩和 中层状灰岩为主, 在海平面高频波动的影响下发育有多套旋回。同时, 来自台地—斜坡区的碎屑流也可大量发育。受陆棚西缓东陡形态的控制, 低位体系域发育分布具有特殊性。东侧陡, 碎屑流沉积物可尽可能地运移到“陆棚”底部; 西侧缓, 剪切应力小, 沉积物更可能披覆到斜坡上, 随海平面上升退积, 导致低位

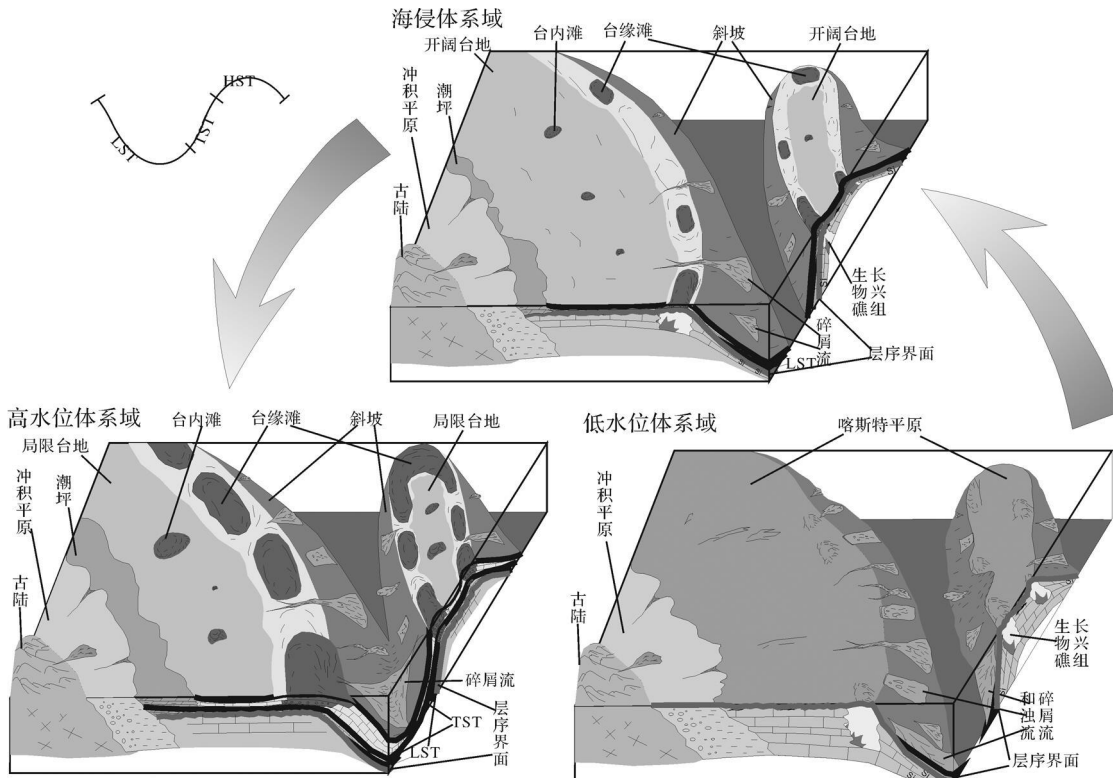


图 6 川东北地区飞仙关组下层序演化模式图

Fig 6 The evolution model of the lower sequence of the Feixianguan Formation in the northeast of the Sichuan Basin

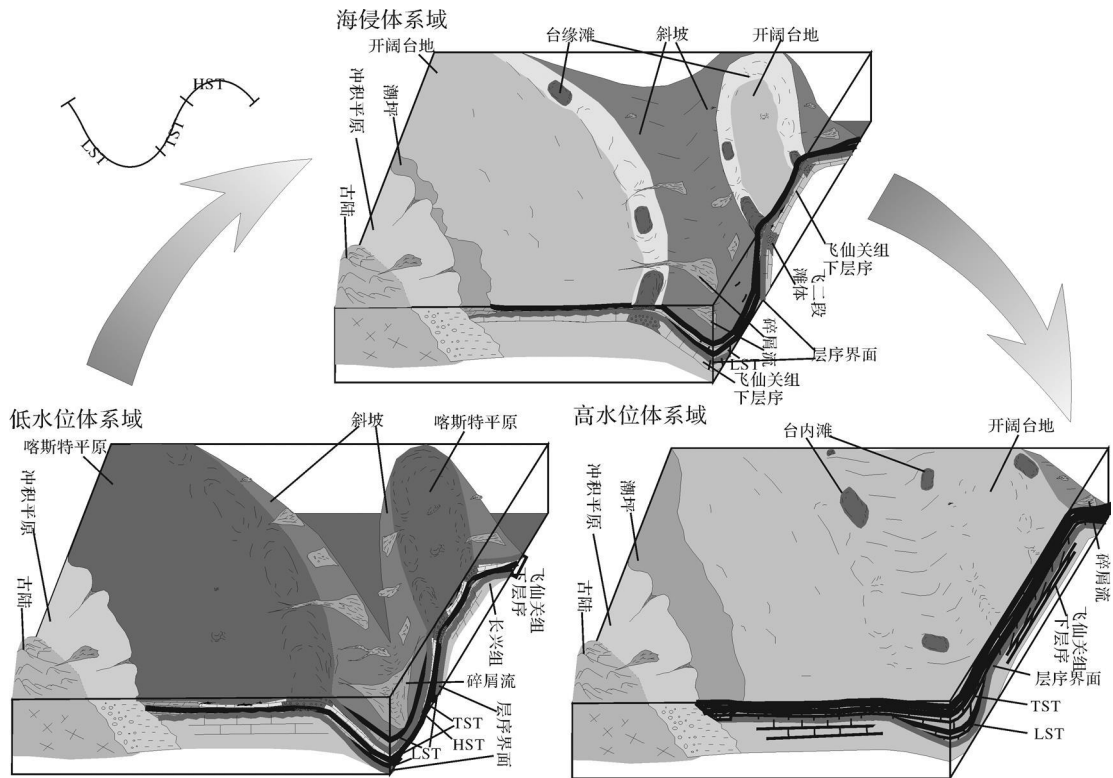


图 7 川东北地区飞仙关组上层序演化模式图

Fig 7 The evolution model of the upper sequence of the Feixianguan Formation in the northeast of the Sichuan Basin

体系域表现出西边发育范围广、攀升高、厚度薄，而东边范围较窄、厚度大的特征。

#### B 下层序海侵体系域

随着海平面上升越过陆棚坡折，全区被海水覆盖，受长兴组生物礁的影响，原生物礁部位和原礁间部位的水体深度差异较大，甚至在开江—梁平陆棚东侧原礁间部位未表现出台地边缘的特征，而显缓坡特征。尽管在海侵体系域期间海平面持续上升，但是由于原生物礁发育部位的高点优势而具有较大的水体能量，导致台地边缘相带部分地区在此期间开始发育鲕粒滩，同时在动荡的水体作用下，一部分鲕粒滑塌到原礁间部位进行沉积。此外，在台地内部的局部高点也可以形成小规模滩体。盆地相区水体深度大，以发育暗紫色泥岩为主，可含菊石化石，陆棚相区水体深度相对较浅，接受碳酸盐岩沉积，泥质含量较重。

#### C 下层序高位体系域

高位体系域期间，具有高点优势的台地边缘长时间处于碳酸盐岩“工厂”带，台地边缘滩大规模发育，并可逐渐前积到深水区沉积，表现出“进积楔”的特征。研究区开江—梁平陆棚西侧台地边缘和城口—鄂西陆棚西侧台地边缘表现出明显的大规模前积，开

江—梁平陆棚东侧台地边缘表现为加积甚至退积特征，为基底沉降、海平面变化以及古风向等多因素影响的结果。碳酸盐岩生长和海平面下降共同导致台地内部水体逐渐变浅，甚至变局限，致使滩体的发育范围扩展到台地内部，并且受限的孤立台地内部在蒸发作用下沉积石膏。盆地相区和陆棚相区保持了深水沉积的特征，高位海平面也导致斜坡和盆地可具有较高的沉积率 (Mullins, 1983)，大量来自台地的细粒沉积物被风暴或洋流搬运到滩外，缓慢从悬浮状态沉积到斜坡和盆地形成围绕台地的软泥 (Schlager 和 James, 1978)，前积的高位陆棚边缘和斜坡也常常因太陡而失稳，通过岩石垮塌、沉积物滑移和沉积物重力流等形成坍塌加入到再沉积的碎屑中形成高位体系域沉积于斜坡和盆地<sup>[14]</sup>。

#### D 上层序低位体系域

经过下层序的演化、台地大规模前积，盆地相区和陆棚相区范围已明显缩小，在陆上暴露期间，可以有大量的碎屑流沉积物搬运到盆地相区和陆棚相区沉积，如旺苍剖面所见碎屑流沉积，低位体系域期间的这一过程正是盆地—陆棚充填的主要机制<sup>[14]</sup>。

#### E 上层序海侵体系域

低位体系域发育过后,开江—梁平陆棚深度和范围已大不如前,深水碳酸盐岩生长率增加,而台地边缘地区此时受下层序末期古地形影响,局部继续发育滩体。

#### F 上层序高位体系域

高位体系域发育期间,全区已基本演化为一个大型的台地,具有陆表海台地的性质,遵循“加积片”模式,原处于陆棚区的龙 4 井和河坝 1 井等以及位于盆地相区的旺苍剖面,已经演化为开阔台地相,并随后开始发育台内鲕粒滩。随着海平面的下降全区演化为局限台地,川西潮坪相进一步东扩,台地内部高点继续保持优势,演化为台内的潮坪相,局部可发育有小规模的台内滩。飞仙关组晚期全区演化基本一致,主要发育潮坪相,局部泻湖相发育。

在以上层序地层演化背景下,形成了如图 8 的川东北地区飞仙关组层序地层充填特征。开江—梁平陆棚在上层序海侵体系域之前以沉积泥灰岩和灰岩为主,其上可有滩体鲕粒岩发育;三个台地边缘相带在下层序高位体系域以发育边缘鲕粒滩为主,其中巴中地区和鸡唱剖面所在边缘具前积特征,而普光所在边缘以加积为主,上层序海侵体系域过后鲕粒岩发育规模变小;西侧台地内部以开阔台地相中—薄层状微晶灰岩为主;东侧台地上层序高位体系域早期沉积微晶灰岩为主,中晚期可以发育鲕粒岩、石膏和白云岩等;研究区西部以紫红色潮坪相泥岩发育为主,局部受海平面变化,与海相沉积互有消长。

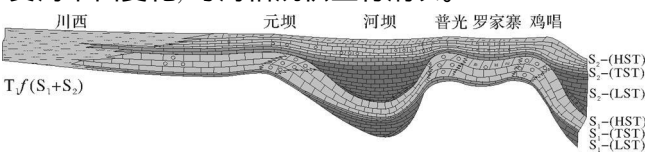


图 8 川东北地区飞仙关组层序地层格架充填模式图

Fig 8 The filling model of the framework of the Feixianguan sequence stratigraphy in the northeast of the Sichuan Basin

## 4 结论

飞仙关组发育两个三级层序,且都发育有低位、海侵和高位体系域。层序地层在演化过程中受到构造、海平面及气候等多种因素的控制,具有一定特殊性和规律性。滩体发育与层序地层演化关系密切,主要发育于下层序高位体系域中晚期的台地边缘相带,台内少量;上层序中则主要发育于高位体系域早中期,以台内滩为主。在层序地层框架内预测滩体对于

进一步的油气勘探是较为有效的手段。

## 参考文献 (References)

- 1 陈中强. 二叠纪末期的全球淹没事件 [J]. 岩相古地理, 1995, 15 (3): 34-39 [Chen Zhongqiang. The Late Permian global flooding events [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1995, 15 (3): 34-39]
- 2 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 [Ma Yongsheng, Mu Chuansong, Guo Tonglou, et al. Sequence stratigraphy and reservoir distribution of Feixianguan Formation in Northeastern Sichuan [J]. Mineral Petrology, 2005, 25 (4): 73-79]
- 3 魏国齐, 陈更生, 杨威, 等. 川北下三叠统飞仙关组“槽台”沉积体系及演化 [J]. 沉积学报, 2004, 22 (2): 254-260 [Wei Guoqi, Chen Gengsheng, Yang Wei, et al. Sedimentary system of platform trough of Feixianguan Formation of Lower Triassic in Northern Sichuan Basin and its evolution [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22 (2): 254-260]
- 4 刘宝珺, 许效松, 潘香南, 等. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿 [M]. 北京: 科学出版社, 1994 [Liu Baojun, Xu Xiaosong, Pan Xiangnan, et al. The Sedimentary Crustal Evolution and Mineralization of South China Palecontinent [M]. Beijing: Science Press, 1994]
- 5 刘树根, 李智武, 刘顺, 等. 大巴山前陆盆地——冲断带的形成演化 [M]. 北京: 地质出版社, 2006 [Liu Shugen, Li Zhiwu, Liu Shun, et al. The Formation and Evolution of the Dabashan Foreland Basin-Thrust Belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006]
- 6 王成善, 李祥辉, 陈洪德, 等. 中国南方二叠纪海平面变化及升降事件 [J]. 沉积学报, 1999, 17 (4): 536-541 [Wang Chengshan, Li Xianghui, Chen Hongde, et al. Permian sea-level changes and rising-falling events in South China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17 (4): 536-541]
- 7 梅冥相, 李仲远. 滇黔桂地区晚古生代至三叠纪层序地层序列及沉积盆地演化 [J]. 现代地质, 2004, 18 (4): 555-563 [Mei Mingxiang, Li Zhongyuan. Sequence-stratigraphic succession and sedimentary basin evolution from Late Paleozoic to Triassic in the Yunnan-Guizhou-Guangxi Region [J]. Geoscience, 2004, 18 (4): 555-563]
- 8 殷鸿福, 董金南, 丁梅华, 等. 扬子区晚二叠世—中三叠世海平面变化 [J]. 地球科学, 1994, 19 (5): 627-632 [Yin Hongfu, Dong Jinnan, Ding Meihua, et al. Late Permian-Middle Triassic sea level change of Yangtze Platform [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 1994, 19 (5): 627-632]
- 9 赵玉光, 许效松, 刘宝珺. 上扬子台地西缘峨嵋地区三叠纪高频层序与海平面振荡研究 [J]. 岩相古地理, 1996, 16 (1): 1-18 [Zhao Yuguang, Xu Xiaosong, Liu Baojun. High-frequency sequences and sea-level oscillations in the Emei Area on the Western Margin of the Upper Yangtze Platform [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1996, 16 (1): 1-18]
- 10 Vail P R, Audemard F, Bowman SA, et al. The Stratigraphic Signatures of Tectonics, Eustasy and Sedimentology: An Overview [C] // Einsele G, Ricken W, Seilacher A, eds. Cycles and Event in Stratigraphy. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1991: 617-659
- 11 乔占峰, 李国蓉, 李强, 等. 泸州古隆起地区嘉陵江组层序特征及



- 其对碳酸盐岩储层的控制 [J]. 沉积学报, 2008, 26(1): 92-99 [Qiao Zhanfeng, Li Guorong, Li Tao, *et al.* Sequence stratigraphic features and their controls on carbonate reservoirs for the Triassic Jialingjiang Formation of the Luzhou Paleohigh in Sichuan Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(1): 92-99]
- 12 冯增昭, 等. 中国南方早中三叠世岩相古地理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997 [Feng Zengzhao. Lithofacies Paleogeography of Early and Middle Triassic of South China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1997]
- 13 冯增昭, 等. 中国南方二叠世岩相古地理 [M]. 北京: 石油大学出版社, 1997 [Feng Zengzhao. Lithofacies Paleogeography of Permian of South China [M]. Beijing Petroleum University Press, 1997]
- 14 Robert G Loucks, Frederick Sarg. 碳酸盐岩层序地层学——近期进展及应用 [M]. 马永生, 刘波, 梅冥相, 等 (译). 北京: 海洋出版社, 2003 [Robert G Loucks, Frederick Sarg. Carbonate Sequence Stratigraphy [M]. Translated by Ma Yongsheng, Liu Bo, Mei Mingxiang. Beijing Ocean Press, 2003]
- 15 李国蓉, 曾允孚, 周心怀, 等. 十万大山地区下中泥盆统白云岩成岩层序地层学研究 [J]. 成都理工大学学报, 2006, 31(6): 668-671 [Li Guorong, Zeng Yunfu, Zhou Xinhuai, *et al.* Study on diagenesis sequence stratigraphy of Lower Middle Devonian dolostone in Shiwandashan area, Guangxi, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2006, 31(6): 668-671]
- 16 李国蓉, 王鑫, 周心怀, 等. 碳酸盐岩层序地层储层预测——十万大山地区的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 413-421 [Li Guorong, Wang Xin, Zhou Xinhuai, *et al.* Carbonate reservoirs prediction with sequence stratigraphy: application in Shiwandashan area [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 413-421]
- 17 梅冥相, 徐德斌, 周洪瑞. 米级旋回层序的成因类型及其相序结构特征 [J]. 沉积学报, 2000, 18(1): 43-49 [Mei Mingxiang, Xu Debin, Zhou Hongrui. Genetic types of meter-scale cyclic sequences and their fabric features of facies succession [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(1): 43-49]
- 18 肖加飞, 魏家庸, 胡瑞忠. 扬子地台西南缘早三叠世层序地层格架 [J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 310-318 [Xiao Jiawei, Wei Jiayong, Hu Ruizhong. The Early Triassic sequence stratigraphic framework in southwestern margin of Yangtze Platform [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(2): 310-318]

## Characteristics and Evolution Model of Sequence Stratigraphy of Feixianguan Formation in the Northeast of Sichuan Basin

QIAO Zhan-feng<sup>1</sup> LI Guo-rong<sup>2</sup> LONG Sheng-xiang<sup>3</sup>  
JIANG Zhong-zheng<sup>2</sup> HU Wen-yan<sup>2</sup> LIW en-mao<sup>2</sup>

(1. Hangzhou Research Institute of Petroleum Geology, Petrochina, Hangzhou 310023

2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059

3. Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083

**Abstract** Based on the knowledge of the sedimentary and tectonic settings in the northeast of the Sichuan basin, using the different methods such as outcrop, core, well-logging and seismic, and so on, with the careful analysis of the sequence surfaces, facies section, the stacking pattern, well-logging curves and seismic sequence stratigraphy, and so on, there are 2 third-order sequences distinguished in the Feixianguan Formation in the northeast of the Sichuan basin, both of which include the LST, TST and HST. Furthermore, using the theory of the sequence stratigraphy by establishing the framework of the sequence stratigraphy of the Feixianguan Formation in the northeast of the Sichuan basin, based on the analysis of the control factors of the sequence stratigraphy, the evolution model of the sequence stratigraphy of the Feixianguan Formation is established in the northeast of the Sichuan basin. Furthermore, the distribution of the shoal is discussed in the framework of the sequence evolution; it is important to the further exploration of the hydrocarbon in the northeast of the Sichuan basin.

**Key words** sequence stratigraphy, evolution model, Feixianguan Formation, northeastern Sichuan Basin