

# 川西类前陆盆地晚三叠世须家河期 构造演化及层序充填样式

郑荣才<sup>1</sup> 朱如凯<sup>2</sup> 翟文亮<sup>1</sup> 高红灿<sup>1</sup> 戴朝成<sup>1</sup> 耿 威<sup>1</sup>

(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.中国石油勘探开发研究院油气储层重点实验室,北京 100083)

**摘要:**晚三叠世须家河期,龙门山构造活动呈现明显的阶段性。须二段和须四段沉积期为龙门山逆冲推覆活动期,川西类前陆盆地沉积、沉降中心位于靠近盆缘冲断带一侧的前渊拗陷内,盆地两侧以储层发育和沉积极不对称为特征。在盆缘冲断带一侧,随着龙门山造山带构造活动的增强,下切剥蚀力也不断增强,低位体系域相对发育,而高位体系域则因后期暴露剥蚀而保存不完整;在前陆隆起斜坡带一侧,表现为稳定的缓慢隆升,下切侵蚀作用较弱,故低位体系域缺失或不发育,而高位体系域则因后期剥蚀较弱而相对发育。须三段和须五段沉积期为龙门山逆冲推覆休眠期,川西类前陆盆地的沉积、沉降中心向前陆隆起方向迁移,盆地两侧沉积的不对称性也逐渐减弱,以发育区域性盖层和生油层为特征。其层序充填样式与活动期相似。但造山带前缘因构造剥蚀相对减弱而使沉积层序,尤其是高位体系域保存相对完整,而前陆隆起区则主要因沉积物供应不足而使层序发育相对不完整,只保留最大洪泛面附近的沉积。

**关键词:**川西类前陆盆地;上三叠统;须家河组;构造演化;层序充填样式

**中图分类号:**P539.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2008)02-0246-10

前陆盆地是位于山系(链)前缘与相邻克拉通之间的沉积盆地<sup>[1,2]</sup>,是沿着前陆冲断带的克拉通一侧作线状或带状沉降而形成的。一般具有完整的深海页岩、海相磨拉石与陆相磨拉石 3 个演化阶段,和深海—滨浅海相与陆相粗碎屑沉积构成的两层结构<sup>[3]</sup>。Dickison<sup>[4]</sup>从板块构造理论出发,根据盆地所处大地构造背景和演化阶段,将前陆盆地分为周缘前陆盆地、弧后前陆盆地和破裂前陆盆地三种类型。前陆盆地层序地层学是将层序地层学理论应用于构造活动区进行盆地分析的一个特例,即通过研究前陆盆地不同级别地层层序、旋回及其成因,揭示构造运动、沉积作用和海平面变化之间的内在联系,进一步研究前陆盆地沉积—构造演化,为资源勘探提供依据<sup>[5]</sup>。

由美国 Exxon 石油公司所创立的经典层序地层学是在被动大陆边缘构造背景基础上发展起来的,其

成因主要归于全球统一的海平面变化,较少考虑构造活动的因素<sup>[6-8]</sup>,其理论体系适合于构造相对稳定的克拉通盆地和离散型被动大陆边缘盆地的研究<sup>[9-11]</sup>,但对构造活动较强烈的前陆盆地不完全适合<sup>[10]</sup>。前陆盆地三级层序是构造运动或构造运动与海平面变化叠加效应的结果,层序界面往往是构造运动和相对海平面突然下降的叠加<sup>[11]</sup>。刘宝珺等<sup>[12]</sup>在研究中国南方古大陆沉积地壳演化中,也认识到前陆盆地三级海平面变化是地方性和区域性的,与全球海平面变化并非同步。尽管前陆盆地与被动大陆边缘盆地在构造沉降大小与方向上有较大不同,但在层序组成上相似<sup>[5-9]</sup>。所以,前陆盆地层序地层学研究仍可借鉴经典层序的术语,但只是术语上的统一,其以时限为标准的层序内容虽然能与经典的层序学术语相对比,但意义不尽相同,它主要强调构造活跃期对沉积

收稿日期:2007-09-21;改回日期:2007-10-31

基金项目:中国石油天然气总公司攻关项目《前陆盆地油气成藏与富集规律研究》(06-01A-02-01)资助。

作者简介:郑荣才,男,1950年生,教授,博士生导师,主要从事沉积学和石油地质学研究;E-mail:rongcaizheng@sohu.com。

地层展布样式的控制作用。

包括川西坳陷在内的中国中西部发育在造山带周缘的压性盆地,不仅具前陆盆地结构、变形和沉积充填序列,其形成亦与大陆岩石圈板内挤压挠曲作用有关,不存在同期的板块碰撞或俯冲作用,因而缺乏同期岩浆弧或蛇绿混杂岩带和缺失下部被动大陆边缘沉积。这类盆地发育时限一般在碰撞造山期之后较长的时间间隔内,其形成过程与距离颇远的板块碰撞和进一步会聚产生的远程挤压造山有关,是板块碰撞后陆内远程效应的结果。因此,在严格的前陆盆地定义上,它与国外的前陆盆地有明显区别<sup>[2-4]</sup>,其沉积层序的形成更依赖于构造运动、湖(或海)平面变化和物源供给<sup>[5]</sup>。对这种在中国存在普遍、特征典型的陆内会聚盆地的称谓不同学者各不相同,如“C型俯冲”或“C-型前陆盆地”、“再生前陆盆地”、“类前陆盆地”抑或“前陆类盆地”等<sup>[13-18]</sup>。从不同学者所描述的此类盆地构造背景和演化,充填序列和样式等特征来看,大部分称谓具有非常类似的概念,笔者采用陈发景<sup>[17]</sup>的“类前陆盆地”概念而将川西坳陷称之为“川西类前陆盆地”。

## 1 川西类前陆盆地的构造演化

### 1.1 川西类前陆盆地的形成背景

古生代至中生代早期(早、中三叠世),扬子板块西部边缘属较稳定的被动大陆边缘盆地,以沉积海相碳酸盐岩地层为主<sup>[19]</sup>。晚二叠世—中三叠世扬子板块以近于直交的“双向俯冲模式”开始俯冲<sup>[20,21]</sup>(图 1):向北俯冲于昆仑地体之下,并于中三叠世拉丁中晚期与北方陆块和柴达木陆块发生陆—陆碰撞而使北古特提斯小洋盆(即阿尼玛卿洋盆)关闭,残留阿尼玛卿蛇绿岩缝合带,在四川盆地中部形成相对应的泸州—开江前陆隆起;向西俯冲于羌塘—昌都陆块之下,形成自西往东“海沟倒退俯冲作用”,先后留下金沙江蛇绿岩缝合带和甘孜—理塘蛇绿岩缝合带及其相对应的江达—德钦“安第斯山”型陆缘火山岛弧和义敦火山岛弧,并于晚三叠世早期发生扬子陆块和羌塘—昌都陆块的陆—陆碰撞而使南古特提斯小洋盆关闭,进而于晚三叠世中、晚期在松潘—甘孜地区形成巴颜喀拉—川西周缘前陆盆地<sup>[21]</sup>,龙门山及川西处于该周缘前陆盆地的前陆斜坡带。随着古特提斯洋(C<sub>1</sub>—T<sub>3</sub>)消亡,晚三叠世诺利克—瑞替克期以来的劳亚陆块、羌塘—昌都陆块及扬子陆块的碰撞拼贴及其长期的陆

内会聚作用,最终演化成松潘—甘孜造山带<sup>[20]</sup>。沿造山带前缘的龙门山和盐源前陆逆冲带的前渊,从北到南依次形成川西类前陆盆地、西昌类前陆盆地和楚雄类前陆盆地(图 2),东界大致在重庆到昆明一线<sup>[22]</sup>。

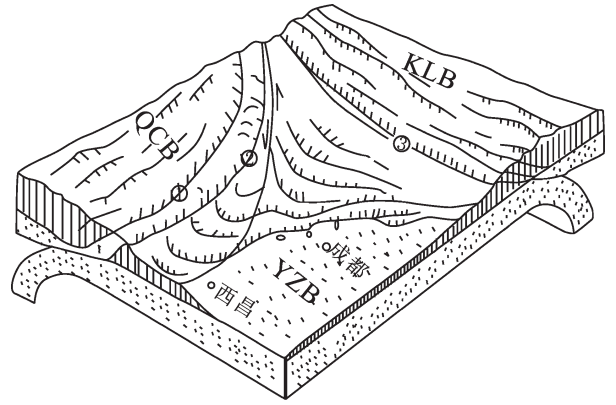


图 1 扬子板块双向俯冲动力学示意图<sup>[20]</sup>  
 QCB—羌塘—昌都陆块; YZB—扬子陆块; KLB—昆仑地体;  
 ①—金沙江蛇绿混杂岩带; ②—甘孜—理塘蛇绿混杂岩带;  
 ③—阿尼玛卿蛇绿混杂岩带

Fig.1 Dynamic diagram of bidirectional subduction of the Yangtze plate<sup>[20]</sup>

QCB—Qiangtang—Qamdo block; YZB—Yangtze block;  
 KLB—Kunlun terrane; ①—Jinsha River ophiolitic mélange belt;  
 ②—Garzê—Litang ophiolitic mélange belt;  
 ③—A'nyemaqên ophiolitic mélange belt;

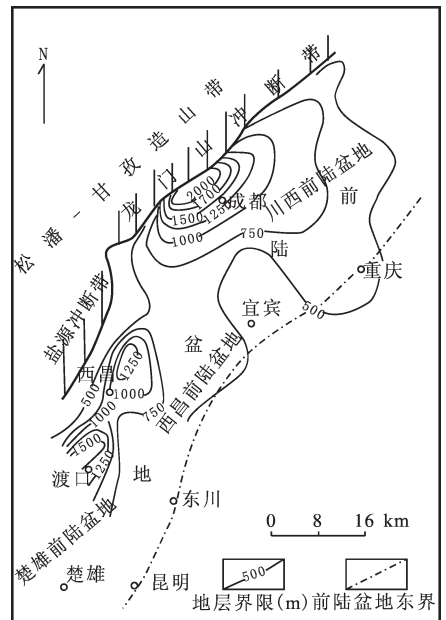


图 2 扬子板块西缘晚三叠世晚期前陆盆地及其地层等厚线略图(据参考文献[22],1987,补充修改)

Fig.2 Latest Triassic foreland basin on the western margin of the Yangtze craton and its isopach map (modified from Chen Zhi-liang, 1987)

自晚三叠世中晚期开始,受古太平洋板块俯冲、碰撞产生的远端效应,导致四川前陆盆地深部发生陆内俯冲而进入陆内前陆盆地演化阶段<sup>[13-15]</sup>。从北西往南东向上扬子板块方向不断推进,从形成逆冲推覆山链,使原来的周缘前陆盆地几乎全被构造侵位而进入板内类前陆盆地发展演化阶段(图 3-A)。从逆冲推覆山链剥蚀下来的陆屑部分流向西南边的雅江残留盆地,部分流向上扬子克拉通盆地,形成须家河组的陆相磨拉石沉积<sup>[20]</sup>。所以,川西类前陆盆地是在晚三叠世中、晚期松潘—甘孜地区形成巴颜喀拉—川西周缘前陆盆地基础上叠加发育的类前陆盆地。其沉积基底为中三叠统海相灰岩,其上依次充填有晚三叠世卡尼克阶的马鞍塘组海相地层,诺利克阶—瑞替克阶的小塘子组和须家河组海陆交互与陆相煤系地层,以及侏罗系至白垩系的陆相红色地层。地层厚度须家河组变化很大,一般为 2 000~2 500 m,薄的地区不足 500 m,厚的地区可达 4 000~4 500 m 以上<sup>[23]</sup>。以基准面旋回层序级次划分和命名原则为依据<sup>[24-28]</sup>,同时考虑界面性质、层序结构和叠加样式,将川西类前陆盆地须家河组划分为 2 个超长期和 4 个长期旋回层序(表 1 和图 3-B),其中 2 个超长期旋回分别对应于须家河早期( $T_{3x^2}$ — $T_{3x^3}$ ,俗称须下盆)和须家河晚期( $T_{3x^4}$ — $T_{3x^5}$ ,俗称须上盆)2 个成盆期构造层序,4 个长期旋回层序分别对应于须二、须三、须四和须五段地层,各超长期和长期旋回代表盆地的不同演化阶段<sup>[29]</sup>。

表 1 川西坳陷上三叠统须家河组高分辨率层序划分  
Table 1 Summary of the high-resolution sequence stratigraphic division of the Upper Triassic Xujiahe Formation in the western Sichuan depression

地层系统					构造活动	构造活动	基准面旋回	
系	统	组	段	代号			超长期	长期
三叠系	上须家河统	须家河组	五段	$T_{3x^5}$	强烈坳陷	三角洲—浅湖—沼泽	SLSC2	LSC4
			四段	$T_{3x^4}$		冲积扇—扇三角洲—浅湖		LSC3
		须家河组	三段	$T_{3x^3}$	稳定坳陷	三角洲—浅、半深湖—沼泽	SLSC1	LSC2
			二段	$T_{3x^2}$		辫状河三角洲—浅湖		LSC1

## 1.2 川西类前陆盆地须家河期的盆—山耦合过程

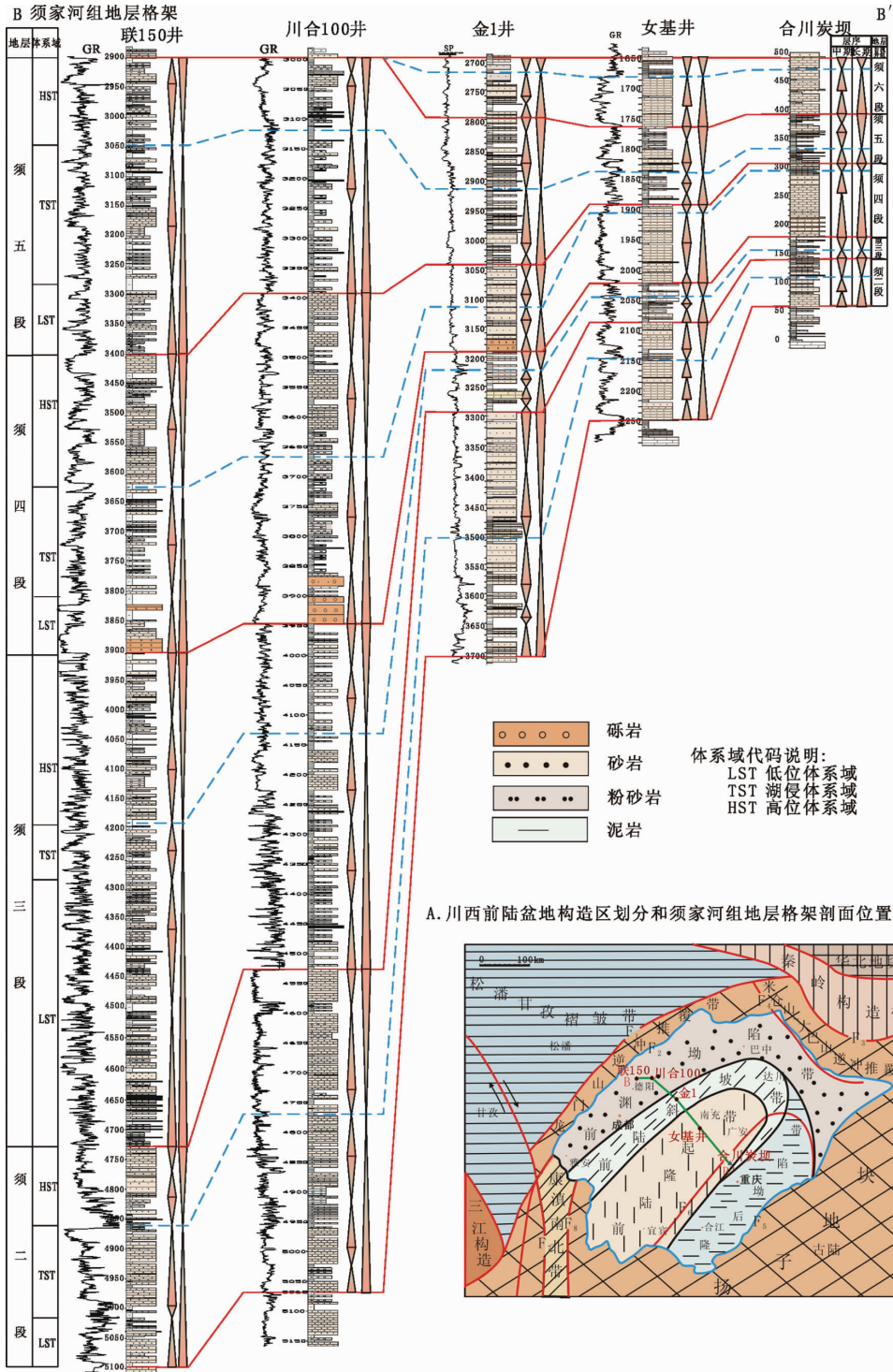
川西类前陆盆地须家河期的盆—山耦合过程,经历了 4 个构造—沉积—层序演化阶段:

(1) 须二段沉积期( $T_{3x^2}$ , LSC1 层序, 诺利克中期), 川西地区受松潘—甘孜地区强烈褶皱和自北西

向东南方向推进侵位影响, 龙门山构造山系逆冲推覆作用开始活跃, 于龙门山地区形成以逆冲推覆作用为主的造山带雏形, 部分隆升幅度较大的地区开始露出海面并构成北东向展布的岛链, 岛链以西为大面积收缩的多岛洋残余海盆, 以东为以挤压坳陷沉降为主的川西类前陆盆地, 其前渊坳陷和沉降、沉积中心均位于川西彭州、江油、安县至川北广元一带及其以西地区<sup>[29]</sup>, 以发育小型冲积扇和大型辫状河三角洲—湖泊沉积体系为主(图 4-A), 如位于龙门山逆冲推覆带中段的江油厚坝林青 1 井, 南段彭州新华狮子山, 九龙沟和大邑神仙桥等地的地表剖面中, 须二段发育有厚 20~150 m 的冲积扇砾岩, 砾石成分主要来自晚古生代的灰岩, 砾岩由西向东变细、厚度减薄, 向规模巨大的辫状河三角洲和湖泊沉积体系过渡, 说明龙门山须二段时期的逆冲推覆和隆升作用已初具规模。

(2) 须三段沉积期( $T_{3x^3}$ , LSC2 层序, 诺利克晚期), 龙门山处于逆冲推覆休眠期, 但坳陷构造沉降仍有很大的幅度, 沉降和沉积中心仍位于都江堰、江油至广元一带(图 4-B), 以发育辫状河三角洲为主, 盆地的主体以发育湖泊—沼泽相的含煤泥质建造为主<sup>[29]</sup>, 川西地区暗色泥岩的连续沉积厚度一般都在 400 m 以上, 厚度最大的鸭子河构造可达千余米, 为川西类前陆盆地, 乃至整个四川盆地最重要的优质烃源岩发育层位和生烃洼陷的中心位置。

(3) 须四段沉积期( $T_{3x^4}$ , LSC3 层序, 瑞替克早期), 龙门山构造山系自北西向南东方向逆冲推覆的构造活动更为强烈和活跃, 龙门山地区由逆冲推覆作用形成可供巨量沉积物的构造山系, 沉积物自北西向南东迅速注入盆地和集中堆积在前渊坳陷带, 由构造和沉积双重加载负荷作用, 不仅造成地壳进一步挠曲变形和山前早期沉积的地层( $T_{3m}$ — $T_{3x^3}$ ) 部分卷入到逆冲山系中, 同时因沉降幅度加大, 在川西地区迫使盆地自西向东横向生长, 以及前渊坳陷的沉降和沉积中心及前陆隆起带同步向东迁移。以安县运动构造不整合面<sup>[30]</sup>为底界, 沿龙门山前缘北段广元、中段安县和江油, 至南段彭州一带及其以东地区的须四段沉积早期, 以发育连绵不断和规模巨大的冲积扇裙带为主<sup>[29]</sup>, 代表盆地的沉降、沉积中心位置。冲积扇砾岩以碳酸盐岩质砾石为主, 来源于被推覆到龙门山区的晚古生代至中生代的碳酸盐台地相地层, 砾岩从西向东由卵石级的砾岩逐渐变细为细砾岩和含细砾粗砂岩,



A. 川西前陆盆地构造区划分和须家河组地层格架剖面位置示意图

图 3 川西类前陆盆地构造位置和须家河组层序地层格架及充填样式

F<sub>1</sub>—龙门断裂带;F<sub>2</sub>—彭灌断裂带;F<sub>3</sub>—城口断裂带;F<sub>4</sub>—巫溪—铁溪断裂带;F<sub>5</sub>—七跃山断裂带;F<sub>6</sub>—华蓥山断裂带;F<sub>7</sub>—小江断裂带;F<sub>8</sub>—普雄断裂带;B—B<sup>1</sup>—须家河组层序地层格架剖面位置

Fig.3 Tectonic setting of the western Sichuan foreland-like basin and sequence stratigraphic framework and filling pattern of the Xujiache Formation

F<sub>1</sub>—Longmen fault;F<sub>2</sub>—Peng—Guan fault;F<sub>3</sub>—Chengkou fault;F<sub>4</sub>—Wuxi—Tiexi fault;F<sub>5</sub>—Qiyue Mountain fault;F<sub>6</sub>—Huaying Mountain fault;F<sub>7</sub>—Xiaojiang fault;F<sub>8</sub>—Puxiong fault; B—B<sup>1</sup>—location of the section of the sequence stratigraphic framework of the Xujiache Formation



积期,随着龙门山的隆起与逆冲推覆,形成一系列向上扬子克拉通盆地方向推进的叠置逆冲席,引起地壳岩石圈增厚。在岩石圈的均衡作用下,邻近造山带的川西地区岩石圈向下发生挠曲,强烈的构造沉陷造成沉积物具厚度大、沉积速度快、成分复杂和变形作用强烈的特点(图 5)。同时,随着与造山带距离增大,相同层位的沉积物粒度逐渐由粗变细。位处龙门山前缘的坳陷带须二段厚 115.0~560.0 m, 平均 300.3 m;须四段厚 49.5~1574.5 m,平均 424.9 m, 呈现沉积充填厚度波动大、不稳定、横向厚度和沉积相变化快等特点,主要发育以砾、砂岩为主的粗碎屑岩地层。盆缘冲断带和前陆隆起带两侧的层序充填样式截然不同:

(1)川西坳陷位于盆缘冲断带一侧,随着龙门山造山带逆冲推覆构造活动的增强,地层基准面不断抬升,一方面,其前缘地形高差骤然加剧,致使沉积物供给量急剧增加,可容纳空间也不断同步增大;另一方面,河道下切侵蚀力也不断增强,且总是处在远

大于至大于新增可容纳空间的状态,从而以发育沉积速率高、厚度大和粒度粗的冲积扇-扇三角洲(辫状河三角洲)粗碎屑沉积演化序列为主<sup>[29]</sup>。虽然局部的地层截切冲刷剥蚀强烈,但所保存的地层厚度相对仍较大,尤其是低位体系域相对较发育,而高位体系域、特别是相当晚期高位体系域的基准面下降期因被强烈暴露剥蚀而保存不完整(图 5)。因此,在靠近盆缘冲断带一侧的前渊坳陷内,层序的充填样式主要表现基准面上升半旋回相域的沉积厚度远大于下降半旋回相域的强烈不对称结构为主,储集体主要发育于相当长期基准面上升半旋回相域早、中期的低位-水进扩张体系域(图 3-B)。

(2)位于前陆隆起斜坡带的川中地区,受盆缘冲断带逆冲推覆构造活动的远端波弹隆升迁移效应的影响,表现为缓慢和稳定向东横向生长和隆起带也向东迁移的过程,沉积物供给稳定,层序的充填样式主要受有效可容纳空间向东迁移的变化控制,而沉积物供给量则表现为与可容纳空间成反比的变化趋

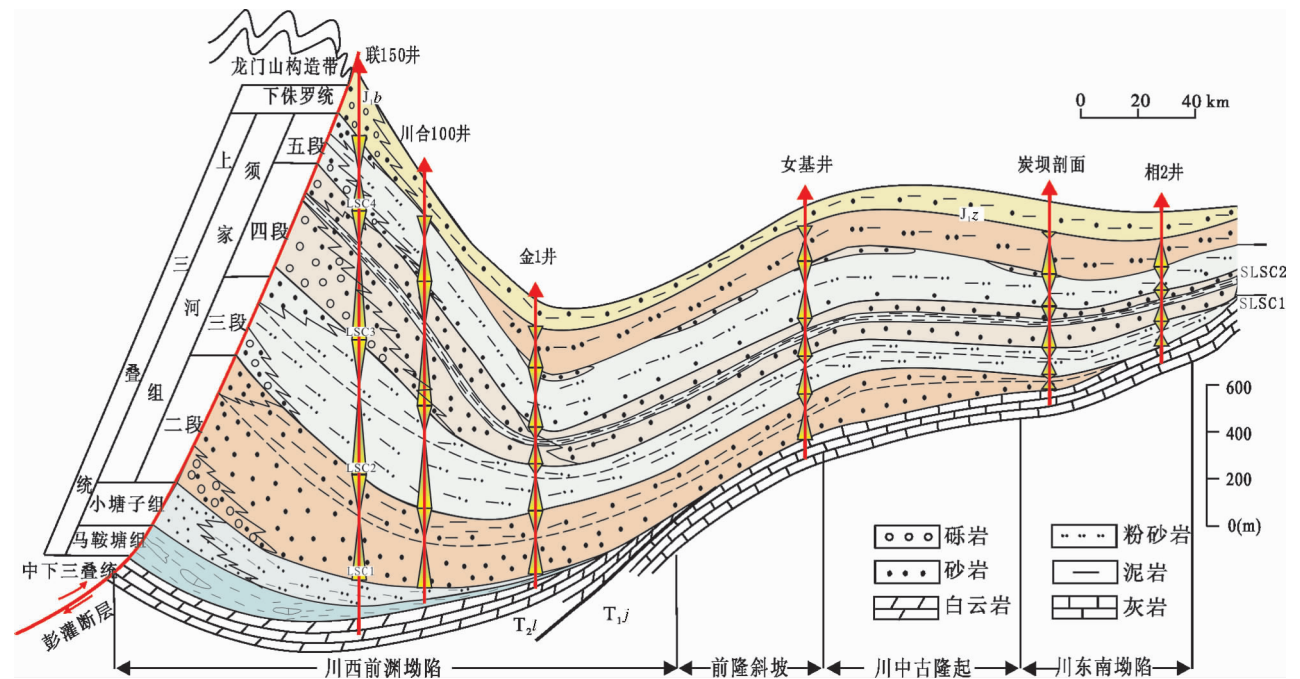


图 5 川西类前陆盆须家河组层序充填模式

$T_{2l}$ —中三叠统雷口坡组;  $T_{1j}$ —下三叠统嘉陵江组;  $J_{1b}$ —侏罗系白田坝组;  $J_{1z}$ —侏罗系珍珠冲组; SLSC1—超长期旋回 1; SLSC2—超长期旋回 2

Fig.5 Sequence filling model of the Upper Triassic Xujiahe Formation in the western Sichuan foreland-like basin

$T_{2l}$ —Middle Triassic Leikoupo Formation;  $T_{1j}$ —Lower Triassic Jialingjiang Formation;  $J_{1b}$ —Jurassic Baitianba Formation;  $J_{1z}$ —Jurassic Zhengzhuchong Formation; SLSC1—superlong sequence cycle 1; SLSC2—superlong sequence cycle 2

势,因此,总体表现为以沉积速率低、厚度薄的河流和湖泊三角洲相的中-细碎屑岩自拗陷向前隆斜坡方向的沉积超覆作用<sup>[29]</sup>,特别是在前隆带虽然时有暴露剥蚀作用,但其幅度小、河流下切作用不发育,故 I 型层序界面特征不明显和低位体系域不发育或沉积缺失;然而在高位体系域发育期,其剥蚀强度相对于盆缘冲断带低的多,因此,前隆斜坡带以高位体系域的沉积保存较好为主要特征(图 5)。与靠近盆缘的前渊拗陷带相比较,发育于前隆斜坡带和隆起带上的层序充填样式恰好相反的,以发育基准面下降半旋回相域的沉积厚度略大于至远大于上升半旋回相域的近对称型至极不对称型结构为主,储集体主要发育于相当长期基准面下降半旋回相域的高位体系域(图 3-B)。

## 2.2 逆冲推覆休眠期层序充填样式

在龙门山逆冲推覆构造活动处于休眠构造期的须家河组三段和五段沉积期,随着构造挤压应力减小,地壳岩石圈在巨厚的沉积载荷均衡作用下,盆地岩石圈发生波弹性回跳,导致前渊继续大幅度沉降而前陆斜坡带和隆起带反向隆升,伴随前渊拗陷带的沉降和沉积中心向前陆隆起方向迁移,盆地两侧沉积层序的不对称性也逐渐减弱。位处龙门山前缘的须三段与须五段以发育辫状河三角洲沉积体系为主,于须三段与须四段之间,须五段与下侏罗统之间各发育有明显的构造不整合层序界面。而在距离造山带较远的前渊拗陷带、前陆斜坡带和前陆隆起带,原始地形随着剥蚀和充填变得越来越平坦,河流能量变弱,搬运能力下降,只有大量的细粒沉积物进入湖盆,形成浅盆广水覆盖的湖泊-沼泽相含煤泥质-细碎屑岩系沉积建造。无论是须三段还是须五段,都以前渊拗陷带的含煤泥质-细碎屑岩系沉积建造厚度最为巨大,是最重要的区域性盖层和生油层系<sup>[29]</sup>,并与构造活动期发育的储层构成完整的生储盖组合。在层序充填样式上,造山带前缘因构造剥蚀强度相对减弱而使须三段和须五段 2 个层序的高位体系域保存都较完整(图 5),以发育基准面下降半旋回厚度大于上升半旋回的不对称型和近于相等的对称型结构为主。而前陆隆起斜坡带因受侧向迁移的构造隆升和沉积物供应不足的影响,发育于基准面上升相域早期的低位体系域一般缺失,而湖侵体系域也具有沿前隆斜坡带自下而上的沉积超覆作用,于最大湖泛期才将前陆隆起带淹没和发生超覆沉积。

而基准面下降期于前陆隆起带率先遭到暴露侵蚀而使高位体系域保存不完整,特别是晚期高位体系域大部分地区侵蚀缺失。因此,此二层序的底界面都为沉积超覆面,顶界面为消截消蚀面,都具有很大的时间跨度而保存的地层厚度很薄,特别是前陆隆起带于此二层序中往往仅保存最大洪泛面附近的地层记录,其中尤以须三段于前陆隆起带上的沉积厚度为最薄(图 3-B)而被部分研究者忽视。相关的层序充填样式,前隆斜坡带(图 3-B)以发育基准面上升与下降半旋回厚度近于相等的对称型结构为主,而在前陆隆起带以发育基准面上升半旋回厚度远大于下降半旋回厚度的非对称型结构为主。

## 3 结 论

(1)川西类前陆盆地是在晚三叠世中、晚期松潘—甘孜地区形成巴颜喀拉—川西周缘前陆盆地基础上叠加发育的陆内类前陆盆地,沉积基底为中三叠统海相碳酸盐岩,其上依次充填有晚三叠世卡尼克阶的马鞍山组海相地层,诺利克阶—瑞替克阶的小塘子组和须家河组海、陆交互相与陆相煤系地层,以及侏罗系至白垩系的陆相红色地层。

(2)晚三叠世须家河期龙门山构造带的逆冲推覆活动与盆-山耦合过程呈现明显的阶段性,其中须二段和须四段为逆冲推覆活动期,也是类前陆盆地强烈挤压拗陷和横向生长的沉积充填期,以冲断带前缘发育冲积扇和规模巨大的辫状河或扇三角洲沉积体系为主,储集体十分发育;须三段和须五段为逆冲推覆休眠期,也是类前陆盆地稳定拗陷沉降和前隆斜坡带波弹性侧向迁移的沉积超覆期,除冲断带前缘发育有小型冲积扇和辫状河三角洲沉积体系,盆地的主体以发育含煤泥质-细碎屑岩建造为主,是区域性烃源岩和致密盖层发育期。因此,与龙门山构造带逆冲推覆活动和盆-山耦合过程的阶段性相对应,于须家河组中形成多套完整的生储盖组合。

(3)在构造逆冲推覆活动期,靠近冲断带一侧的盆缘、前渊拗陷带和前隆斜坡带至前陆隆起带层序充填样式各不相同,特点为:靠近冲断带一侧的盆缘,以发育基准面上升半旋回相域的厚度远大于下降半旋回相域的不对称型结构为主;前隆斜坡带和前陆隆起带,以发育基准面下降半旋回相域的厚度远大于上升半旋回相域的不对称型结构为主;而前渊拗陷带则以发育对称型结构为主。

(4)在构造逆冲推覆活动休眠期,前陆盆地的沉积和沉降中心向前隆斜坡至前陆隆起带方向迁移,前渊坳陷两侧的沉积层序不对称性也逐渐减弱,层序充填样式的结构分布与活动期相似,但靠近冲断带的前缘剥蚀作用较弱,层序中各体系域、尤其是高位体系域的保存相对较完整,而前陆隆起区因受沉积物供应不足而使层序发育不完整,普遍仅保存相当最大洪泛面两侧很薄的地层记录。

## 参 考 文 献 (References):

- [1] Dickinson W R. Plate tectonics and sedimentation[C]//Dickinson W R, et al. Tectonics and Sedimentation; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 1974, 22:1-27.
- [2] Allen P A, Homewood P. Foreland Basin [M]. Oxford:Blackwell Scientific Publication, 1986.
- [3] 顾家裕, 张兴阳. 中国西部陆内前陆盆地沉积特征与层序格架[J]. 沉积学报, 2005, 23(2):187-193.  
Gu Jiayu, Zhang Xingyang. Sedimentary characteristics and sequence framework of intracontinental foreland basin in the Western China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(2):187-193(in Chinese with English abstract).
- [4] Dickinson W R. Plate tectonic evolution of sedimentary basin. AAPG Continuing Education Course Notes Series 1, 1976:62.
- [5] 贾进华. 前陆盆地层序地层学研究简介 [J]. 地质科技情报, 1995, 14(1):23-27.  
Jia Jinhua. Introduction on sequence stratigraphy of foreland basins [J]. Geological Science and Technology Information, 1995, 14(1):23-27(in Chinese with English abstract).
- [6] Vail P R, Mitchum R M, Todd R G, et al. Seismic stratigraphy and global changes of sea-level [C]//Payton, C. E. (ed.), Seismic Stratigraphy -Applications to Hydrocarbon Exploration; Tulsa, AAPG Memoir, 1977, 26:49-212.
- [7] Vail P R, Audemard F, Bowman S A, et al. The Stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology—an overview[C]//Einsele G, Ricken W, Seilacher A (eds.). Cycle and Events in Stratigraphy. Spring-Verlag, 1991, 617-659.
- [8] Brett C E, Goodman W M, Loduc S T. Sequence, cycles and basin dynamics in the Silurian of the Appalachian Foreland Basin [J]. Sedimentary Geology, 1990, 69:191-244.
- [9] 梅冥相, 张海, 孟晓庆, 等. 上扬子区下寒武统的层序地层划分和层序地层格架的建立[J]. 中国地质, 2006, 33(6):1292-1304.  
Mei Mingxiang, Zhang Hai, Meng Xiaoqing, et al. Sequence stratigraphic division and framework of the Lower Cambrian in the Upper Yangtze region [J]. Geology in China, 2006, 33 (6):1292-1304(in Chinese with English abstract).
- [10] Mail A D. Stratigraphic sequences and their chronostratigraphic correlation[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1991, 61(4):497-505.
- [11] 刘贻军. 前陆盆地层序地层学研究中的几个问题 [J]. 地球学报, 1988, 19(1):90-96  
Liu Yijun. Sequence stratigraphy discussions for research foreland basins [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1988, 19(1):90-96(in Chinese with English abstract).
- [12] 刘宝珺, 许效松, 徐强, 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, 1993:61-65.  
Liu Baojun, Xu Xiaosong, Xu Qiang, et al. Evolution and Mineralization of Ancient Mainland Sedimentary Earth's crust of South Region in China[M]. Beijing:Science Press, 1993:61-65(in Chinese).
- [13] 罗志立. 扬子古板块的形成及其对中国南方地壳发展的影响[J]. 地质科学, 1979, 4(2):127-138.  
Luo Zhili. On the occurrence of Yangze old plate and its influence on the evolution of lithosphere in the southern Part of China [J]. Scientia Geologica Sinica, 1979, 4 (2):127-138 (in Chinese with English abstract).
- [14] 罗志立. 试论中国型(C-型)冲断带及其油气勘探问题[J]. 石油与天然气地质, 1984, 5(4):315-323.  
Luo Zhili. A preliminary approach on C -Subduction and its hydrocarbon prospecting [J]. Oil&Gas Geology, 1984, 5 (4):315-323(in Chinese with English abstract).
- [15] 何登发, 吕修祥, 林永汉, 等. 前陆盆地分析[M], 北京:石油工业出版社, 1996.  
He Dengfa, Lü Xiuxiang, Lin Yonghan, et al. Foreland Basin Analysis[M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 1996(in Chinese).
- [16] 刘和甫. 前陆盆地类型及褶皱-冲断层样式[J]. 地学前缘, 1995, 2(3/4):59-68  
Liu Hepu. Classification of foreland basins and fold thrust style [J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2 (3/4):59-68 (in Chinese with English abstract).
- [17] 陈发景, 汪新文, 张光亚, 等. 中国中、新生代前陆盆地的构造特征和地球动力学[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1996, 21(4):366-372.  
Chen Fajing, Wang Xinwen, Zhang Guangya, et al. Tectonic features and geodynamics of mesozoic and Cenozoic foreland basins in China [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1996, 21(4):366-372(in Chinese with English abstract).
- [18] 孙肇才. 中国中西部中—新生代前陆类盆地及其含油气性[J]. 海相油气地质, 1998, 3(4):16-30.  
Sun Zhaocai. Mesozoic -Cenozoic foreland basins and their hydrocarbon prospect in middle and western parts of China [J]. Marine Petroleum Geology, 1998, 3 (4):16-30 (in Chinese with English abstract).
- [19] 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991:206-241.  
Bureau of Geology and Mineral Resources of Sichuan Province. Regional Geology of Sichuan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991:206-241(in Chinese).
- [20] 许志琴, 侯立玮, 王宗秀, 等. 中国松潘-甘孜造山带的造山过程



- [M]. 北京:地质出版社, 1992.73-101, 170-182
- Xu Zhiqin, Hou Liwei, Wang Zongxiu, et al. Orogenic Processes of Songpan-Ganzi Orogenic Belt in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992. 73-101, 170-182(in Chinese).
- [21] 颜仰基, 吴应林. 巴颜喀拉-川西边缘前陆盆地演化 [J]. 岩相古地理, 1996, 16(3):16-29.
- Yan Yangji, Wu Yinglin. Evolution of the Bayan Har -West Sichuan peripheral foreland basin in Southwestern China [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1996, 16 (3):16-29 (in Chinese with English abstract).
- [22] 陈智梁, 陈世瑜. 扬子地块西缘地质构造演化[M]. 重庆:重庆出版社, 1987:121-157.
- Chen Zhiliang, Chen Shiyu. On the Tectonic Evolution of the West Margin of the Yangzi Block [M]. Chongqing: Chongqing Press, 1987:121-157(in Chinese with English abstract).
- [23] 四川盆地陆相中生代地层古生物编写组. 四川盆地陆相中生代地层古生物[M]. 成都:四川人民出版社, 1984:5-56.
- Compilation Group of Stratigraphy and Paleontology of Mesozoic Continental Strata in the Sichuan Basin. Strata and Paleontology in Mesozoic of the Continental Strata in Sichuan Basin[M]. Chengdu: Sichuan People's Press, 1984:5-56 (in Chinese with English abstract).
- [24] 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析[J]. 沉积学报, 2000, 18(3):369-375.
- Zheng Rongcai, Yin Shimin, Peng Jun. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18 (3):369-375 (in Chinese with English abstract).
- [25] 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J]. 沉积学报, 2001, 19(2):249-255.
- Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19 (2):249-255 (in Chinese with English abstract).
- [26] 靳松, 朱筱敏, 钟大康. 扇三角洲高分辨率层序地层对比及砂体分布规律[J]. 中国地质, 2006, 33(1):212-220.
- Jin Song, Zhu Xiaomin, Zhong Dahang. High-resolution sequence stratigraphic correlation of fan deltas and distribution characteristics of sandbodies [J]. Geology in China, 2006, 33 (1):212-220 (in Chinese with English abstract).
- [27] 柯光明, 郑荣才, 石和. 苏北盆地古近纪构造-层序岩相古地理特征与演化[J]. 中国地质, 2006, 33(6):1305-1311.
- Ke Guangming, Zheng Rongcai, Shi He. Lithofacies and paleogeography of Paleogene tectonic sequences in the Subei basin and their evolution[J]. Geology in China, 2006, 33(6):1305-1311 (in Chinese with English abstract).
- [28] 赵永刚, 陈景山, 雷卞军, 等. 川西邛崃县白马庙气田上侏罗统蓬莱镇组高分辨率层序地层分析[J]. 中国地质, 2005, 32(4):674-681.
- Zhao Yonggang, Chen Jingshan, Lei Bianjun, et al. Analysis of high-resolution sequence stratigraphy of the Upper Jurassic Penglaizhen Formation in the Baimamiao gas field, Qionglai County, western Sichuan [J]. Geology in China, 2005, 32(4):674-681 (in Chinese with English abstract).
- [29] 高红灿, 郑荣才, 叶泰然, 等. 德阳须家河组四段沉积相特征和砂体分布规律[J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(2):66-73.
- Gao Hongcan, Zheng Rongcai, Ye Tairan, et al. Sedimentary facies and sandstone distribution in the 4th member of the Upper Triassic Xujiahe Formation, Deyang, Sichuan [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2007, 27 (2):66-73 (in Chinese with English abstract).
- [30] 王金琪. 龙门山印支运动主幕辨析——再论安县构造运动[J]. 四川地质学报, 2003, 23(2):65-69.
- Wang Jinqi. Recognition on the main episode of Indo - China movement in the Longmen Mountains—A re-review on the Anxian Tectonic movement [J]. Acta Geologica Sichuan, 2003, 23(2):65-69 (in Chinese with English abstract).

## Tectonic evolution and sequence filling patterns in the western Sichuan foreland-like basin in the Upper Triassic Xujiachean period

ZHENG Rong-cai<sup>1</sup>, ZHU Ru-kai<sup>2</sup>, ZHAI Wen-liang<sup>1</sup>,  
GAO Hong-can<sup>1</sup>, DAI Chao-cheng<sup>1</sup>, GENG Wei<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University  
of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. Key Laboratory of Oil and Gas Reservoirs, Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The tectonic activity in the Longmen Mountains exhibited notable phased changes in the Upper Triassic Xujiachean period. The deposition stages of the second and fourth members of the Xujiache Formation coincided with the stages of thrusting in the Longmen Mountains. The depocenter and subsidence center of the western Sichuan foreland-like basin are located in the foredeep near the basin-margin thrust belt, and the reservoirs on both sides of the basin are well developed and their deposits are very asymmetric. As the downcutting erosion increased with enhancing tectonic activities in the Longmen Mountains orogen, the lowstand systems tract on the side of the basin-margin thrust is better developed, while the highstand systems tract is preserved incompletely because of later subaerial exposure and erosion. On the other hand, the side of the forebulge slope was marked by steady slow uplift and weak downcutting erosion, and so the lowstand systems tract is absent or not well developed and the highstand systems tract is better developed due to weaker erosion in the late stage. The deposition stages of the third and fifth members of the Xujiache Formation coincided with the repose stage of thrusting in the Longmen Mountains. The depocenter and subsidence center of the western Sichuan foreland-like basin moved toward the forebulge; the deposits on both sides of the basin are less asymmetric, which are characterized by the development of regional caps and source rocks. The sequence filling patterns of the two stages are similar to those of the thrusting stages. However, their depositional sequences, especially the highstand systems tract, in the front of the orogen are completely preserved because of weaker tectonic erosion; whereas in the forebulge the sequences are relatively incomplete mainly owing to lack of supply of sediments and thus only the sediments near the maximum flooding surface are preserved.

**Key words:** western Sichuan foreland-like basin; Upper Triassic; Xujiache Formation; tectonic evolution; sequence filling pattern

---

**About the first author:** ZHENG Rong-cai, male, born in 1950, Ph.D and professor, engages in the study of sedimentology and petroleum geology; E-mail: rongcaizheng@sohu.com.