

文章编号: 1009-3850(2005)03-0038-08

# 川东北前陆盆地须家河组层序-岩相古地理特征

高红灿, 郑荣才, 柯光明, 文华国

(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)

**摘要:** 根据控制高分辨率层序的构造和天文因素将川东北前陆盆地晚三叠世须家河期划分为 2 个超长期、5 个长期、18 个中期及数十个短期旋回层序, 并分析了须家河组超长期层序的岩相古地理特征与演化。在 SLSC1 超长期旋回时期, 米仓山-大巴山构造山系尚处于低幅稳定隆升状态, 而龙门山构造山系的逆冲推覆作用较为活跃, 川东北前陆盆地属于受龙门山逆冲推覆作用远端效应影响的前陆斜坡, 沿米仓山-大巴山前缘地带主要发育辫状河三角洲沉积, 而盆地西南部主要发育浅湖沉积。在 SLSC2 超长期旋回时期, 龙门山逆冲推覆进一步增强, 同时, 米仓山-大巴山开始进入逆冲推覆前的强烈构造隆升阶段, 川东北前陆盆地有较大幅度的持续拗陷沉降, 在继承 SLSC1 古地理演化的基础上, 形成了以沿龙门山和米仓山-大巴山两逆冲推覆带前缘广泛发育的、以巨厚块状砾岩为特征的大型冲积扇沉积体系。

**关键词:** 高分辨率层序地层学; 岩相古地理; 上三叠统; 须家河组; 前陆盆地; 川东北

中图分类号: P539.2

文献标识码: A

川东北前陆盆地位于米仓山-大巴山山脉的前缘地带, 地理上属于四川盆地北部和东北部的中、高山区, 东起城口、开县一线, 西至广元、剑阁、盐亭一线, 北至南江、万源, 南抵达川、营山等地, 面积约 50,000km<sup>2</sup>。该盆地以中三叠统海相碳酸盐岩为沉积基底, 其上依次充填有上三叠统卡尼克阶马鞍塘组 and 诺利克阶—瑞替克阶小塘子组海相地层、须家河组陆相煤系地层, 下一中侏罗统下部暗色细碎屑岩和碳酸盐岩地层, 以及中侏罗统上部—古近系的陆相红色地层。

## 1 地质概况

前人的众多研究成果从多方面证明了四川盆地的成因与大陆板块碰撞过程中, 由来自北西侧龙门山造山带推覆体<sup>[1~7]</sup>和北东侧米仓山-大巴山造山带推覆体(郑荣才等, 2003, 米仓山-大巴山前陆盆地沉积层序及储层特征研究)侧向挤压和冲断的构造加载及巨厚沉积物重力负荷的双重作用有关, 从而

导致位于俯冲陆块边缘的川西地区和川东北地区岩石圈发生强烈挠曲变形和大幅度沉降, 成因上具有前陆盆地性质、分别位于俯冲的扬子板块北西部的川西拗陷和川东北拗陷都具有强烈沉降、相互连通并共具同一前陆隆起的性质, 但又具有非同步发展和相互制约的特殊性, 而且前陆隆起发育于扬子板块内部, 位置不很稳定, 构造上不具备典型的前陆隆起性质, 所以有别于具 A-俯冲带的弧后前陆盆地或 B-俯冲带的周缘前陆盆地。在国内外早期前陆盆地分类中, 对此类压性盆地的分类位置非常不明确, 一般将其专门列为特殊成因类型的“中国型盆地”。许多学者曾提出过众多不同的分类和命名方案, 如“C-型前陆盆地”<sup>[1]</sup>、“类前陆盆地”<sup>[3]</sup>或“前陆类盆地”<sup>[4]</sup>等。

川东北前陆盆地的主体属于“川西类前陆盆地”的北东段。米仓山-大巴山推覆体是直接控制川东北地区挠曲拗陷、大幅度沉降以及中新生代巨厚陆相地层沉积充填的主要因素。须家河期属于“川西

收稿日期: 2005-05-18

第一作者简介: 高红灿, 男, 1969 年生, 博士生, 主要从事储层沉积学研究。

类前陆盆地”演化阶段的龙门山亚阶段,在须家河早期( $T_3x^{2-3}$ ),米仓山-大巴山构造山系尚处于低幅稳定升降状态,而龙门山构造山系的逆冲推覆作用较为活跃,川东北前陆盆地主要为受龙门山逆冲推覆作用远端效应影响的前陆斜坡区;在须家河晚期( $T_3x^{4-6}$ ),龙门山逆冲推覆进一步增强,同时,米仓山-大巴山开始进入逆冲推覆前的强烈构造隆升阶段,因而引起川东北前渊拗陷大幅度沉降和沉积充填厚度迅速加大,但相对川西和川西南地区仍要小得多。

2 须家河组层序划分

针对川东北前陆盆地须家河组主要发育陆相和过渡相地层,砂体厚度、岩性和岩相变化较大,产出层位不很稳定的特点,本文采用更适合于陆相盆地层序地层分析的高分辨率层序地层学理论及其技术方法,作为层序分析的指导思想对其进行层序划分。以不同级别的基准面升降运动周期作为不同级别层序划分的依据,以基准面下降达最低点位置时发育的界面为层序边界(往往为大型底冲刷面),一个完整的层序包括基准面从最低点位置上升到最高点位置后,重新下降并返回到最低点位置时的沉积记录,即由上升和下降两个半旋回相域组成<sup>[8]</sup>。通过对控制川东北前陆盆地须家河组沉积的构造、气候、物源、可容纳空间与沉积物通量之比(即A/S)以及地层自旋回等多种因素的综合分析,识别出4种不同性质、成因和产出规模的界面类型据此划分出2个

超长期(SLSC1、SLSC2)、5个长期(LSC1—LSC5),以及18个中期和数十个短期旋回层序(表1,图1)。

3 须家河组层序-岩相古地理特征

3.1 SLSC1 超长期层序-岩相古地理特征

1. 层序结构特征

SLSC1超长期层序由分别相当于须二段和须三段的LSC1和LSC2两个长期层序叠加组成(图1),厚度变化很大,为130~987m,平均为293.3m。层序具有自盆内向盆地西、北、东3个方向逐层上超、减薄、加粗和局部地区尖灭的变化特点。层序结构在多数地区以发育上升半旋回厚度(平均266.4m)远大于下降半旋回厚度(平均39.3m)的强烈不完全对称型为主<sup>[8]</sup>,部分盆缘地区下降半旋回地层被强烈侵蚀,甚至缺失,形成“向上变深”的非对称型结构,显示该层序属于一个不很完整的区域性缓慢湖进—快速湖退沉积旋回的产物。

SLSC1底界为与下伏小塘子组海相地层呈突变关系接触的I型不整合面。层序的最大洪泛面位于须三段内部,与LSC2长期层序的最大洪泛面重叠发育,以反映广泛湖泛作用的浅湖或前三角洲薄层暗色泥页岩沉积为主要特征。该超长期层序的顶界面为由“安县运动”造成的须三段与须四段之间的构造不整合面,以界面两侧的岩性和岩相突变为特征,标志川东北前陆盆地开始进入与川西地区可对比的“须上盆”成盆期构造-沉积演化阶段<sup>[10]</sup>。

2. 上升相域演化特征

表1 川东北前陆盆地须家河组基准面旋回层序划分和基本特征

Table 1 Classification of the base-level cyclic sequences in the Upper Triassic Xujiahe Formation in the northeastern Sichuan foreland basin

| 基准面旋回级次 | 界面类型 <sup>[9]</sup> | 时限/Ma     | 层序定义                                              | 主要控制因素 |              |
|---------|---------------------|-----------|---------------------------------------------------|--------|--------------|
| 超长期     | II级                 | 3~5.5     | 以盆地演化各阶段为单位的构造充填序列(或构造层序、构架层序)                    | 构造因素   | 构造演化阶段的应力场转换 |
| 长期      | III级                | 0.5~3     | 一套具较大水深变化幅度的、彼此间具成因联系的地层所组成的区域性湖进—湖退沉积序列          |        | 构造幕式性强弱变化    |
| 中期      | IV级                 | 0.2~1.25  | 一套水深变化幅度不大的、彼此间成因联系密切的地层叠加所组成的湖进—湖退沉积序列           | 天文因素   | 偏心率长周期       |
| 短期      | V级                  | 0.04~0.16 | 一套具低幅水深变化的、彼此间成因联系极为密切、或由相似岩性、岩相地层叠加所组成的湖进—湖退沉积序列 |        | 偏心率短周期       |
| 超短期     | VI级                 | 0.02~0.04 | 一套代表最小成因地层单元的单一岩性或相关岩性叠加样式                        |        | 岁差周期         |



在SLSC1上升半旋回早期,即LSC1上升半旋回时期(即须二段底界面至“腰带子”沉积阶段),基准面上升缓慢、沉积物供给量远大于有限的新增可容纳空间。在川东北前陆盆地主要表现为由辫状河三角洲平原—前缘水下分流河道含砾中—粗粒砂岩和中—细粒砂岩组成,间夹分流间沼泽或分流间湾暗色薄层泥岩、粉砂岩和煤线,具向上略趋加深、变细和泥质组分增多的进积→加积序列。在米仓山—大巴山前缘的宣汉七里峡、万源固军坝和石冠寺、通江平溪、南江阮家湾以及广元千佛崖等地,均发育有辫状河三角洲平原分流河道砂体,大多数砂体呈相互叠置的透镜状,砂体内大型斜层理和底冲刷构造非常发育,或砂体间往往夹有薄层状废弃河道泥岩和粉砂质泥岩,泥岩、粉砂岩中含大量植物树干化石和薄煤层,形成特征的煤系地层组合。

在SLSC1上升半旋回晚期,即LSC1下降半旋回和LSC2上升半旋回时期(即须二段“腰带子”至须三段中上部碳质泥页岩和煤层段沉积阶段),在川东北前陆盆地主要表现为基准面上升幅度逐渐加大,沉积物供给量由大于向接近或略低于新增可容纳空间递减。由反映连续湖进过程的沼泽化分流间湾、前

三角洲或浅湖薄层暗色泥页岩、粉砂岩以及薄煤层和煤线组成加积→退积序列,中、下部夹有远砂坝和河口坝微相的透镜状粉—细砂岩。其中LSC1下降期(须二段后期)继承了其上升期(须二段前期)的辫状河三角洲沉积,仍发育粒度较粗的三角洲前缘沉积为主,进入LSC2层序(须三段时期),则明显表现为沉积物粒度变细的湖相沉积占优势。在盆地的边缘,虽然主体仍以发育三角洲平原为主,但也出现了泥质明显增多而砂质减少的变化趋势。

3. 上升相域岩相古地理特征

川东北前陆盆地在SLSC1上升时期的古地理演化为自西部的广元至九龙山一带,经南江阮家湾、通江平溪、万源石冠寺,至东部的宣汉固军坝、七里峡和开县一带,沿盆地边缘自西向东发育有3个巨大的辫状河三角洲沉积体系,且以由多个侧向迁移频繁的辫状三角洲平原分流河道砂体的连续叠置为特征,形成产出层位稳定、厚度巨大和相连成片的席状砂体,各三角洲进积叶状体之间,主要为向北方向狭缩而向南方向变宽的浅水湖湾,沼泽化普遍。盆地西南侧为浅湖沉积,于仪陇南的公19井和营24井一带发育有小片浅湖砂坝(图2)。

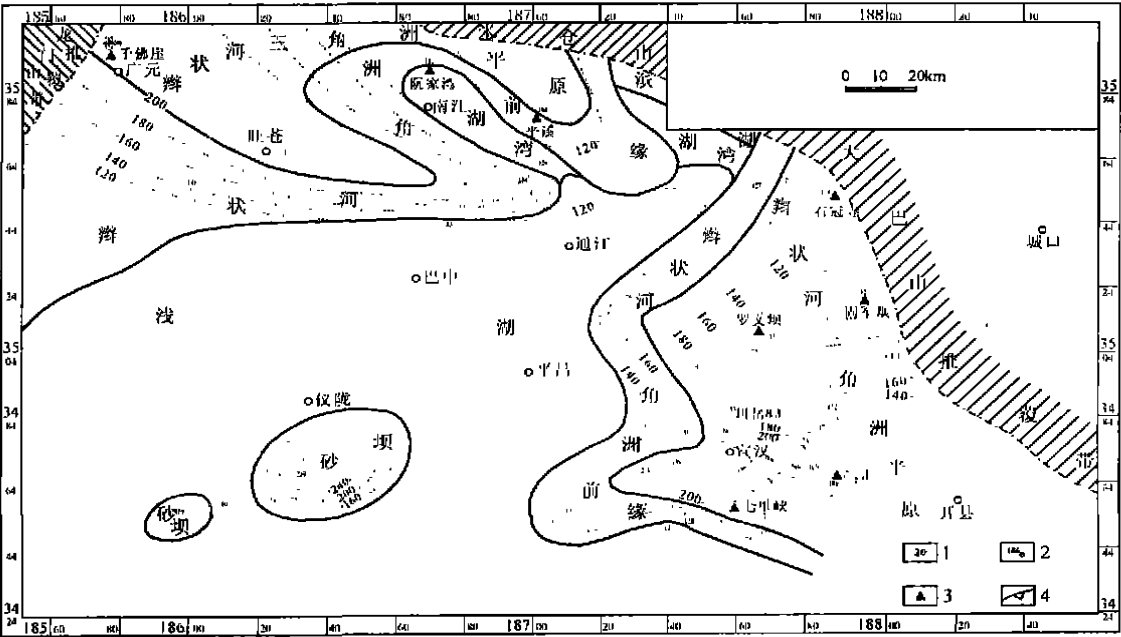


图2 川东北前陆盆地SLSC1上升相域岩相古地理图

1. 砂体厚度等值线(m); 2. 钻井及砂体厚度(m); 3. 剖面及砂体厚度(m); 4. 地层尖灭线

Fig.2 Sedimentary facies and palaeogeographic map of the SLSC1 in the northeastern Sichuan foreland basin during the rising base-level phase

1= isoline of sandstone thickness (m); 2= borehole and sandstone thickness (m); 3= section and sandstone thickness (m); 4= stratigraphic wedge

4. 下降相域演化特征

SLSC1 下降半旋回和 LSC2 的下降半旋回重叠发育。该阶段由于受基准面持续下降的影响,可容纳空间逐渐减少,而沉积物供给量则逐渐增加乃至超出可容纳空间。在川东北前陆盆地主要表现为由反映大面积湖进扩张后相对稳定期的广阔滨浅湖、前三角洲或沼泽化分流间湾薄层碳质泥页岩、粉砂岩、薄煤层和煤线组成的加积→弱进积序列,中、上部透镜状粉—细砂岩、细—中粒砂岩逐渐增多,局部形成明显的向上变浅加粗进积序列。

5. 下降相域岩相古地理特征

在 SLSC1 下降半旋回沉积阶段,盆地的构造沉积格局与其上升半旋回相比没有明显的变化(图 3),仅在盆地东部三角洲平原中因湖水略加深而在局部出现有河漫湖-沼泽微相沉积,以黑色泥岩夹砂岩的煤系地层为主。另外,该阶段末期受“安县运动”构造隆升影响,在川东北前陆盆地北西部的广元—旺苍一带、东部的万源石冠寺—固军坝一带,以及东南部的宣汉七里峡—三汇一带均出现了大面积的暴露剥蚀区(图 3)。

3.2 SLSC2 超长期层序-岩相古地理特征

1. 层序结构特征

SLSC2 由分别相当于须四段、须五段和须六段的 LSC3、LSC4 和 LSC5 三个长期旋回层序叠加组成(图 1)。层序厚度变化也很大,为 146.3 ~ 686m,平均为 321m。在区域分布上,自盆内向西、北、东三侧的盆缘有逐渐增厚加粗的变化趋势。与 SLSC1 不同的是盆地东部的厚度明显大于西部和北部,显示在该超长期层序发育时期,米仓山-大巴山开始进入逆冲推覆状态前的强烈构造隆升阶段,与有较强的挤压拗陷作用有关。该超长期层序也以发育上升半旋回厚度(平均 227.9m) 大于下降半旋回厚度(平均 110.6m)的不完全对称型结构为主。但与 SLSC1 相比,SLSC2 下降半旋回厚度明显增大,显示 SLSC2 属于区域性缓慢湖进—较快速湖退沉积旋回的产物。

SLSC2 底界面为前述的“安县运动”构造不整合面,最大洪泛面发育于须五段中部,与 LSC4 长期层序的最大洪泛面重叠发育,也主要由湖泛期的浅湖或前扇三角洲暗色泥页岩组成。其顶界面为上三叠统须家河组与下侏罗统自流井组(或白田坝组)的分界面,该界面也为一区域上可追踪对比的、具不整合面性质的重大构造-沉积转换界面,界面之下的地层因受到印支晚期构造隆升引起的较大幅度下切侵

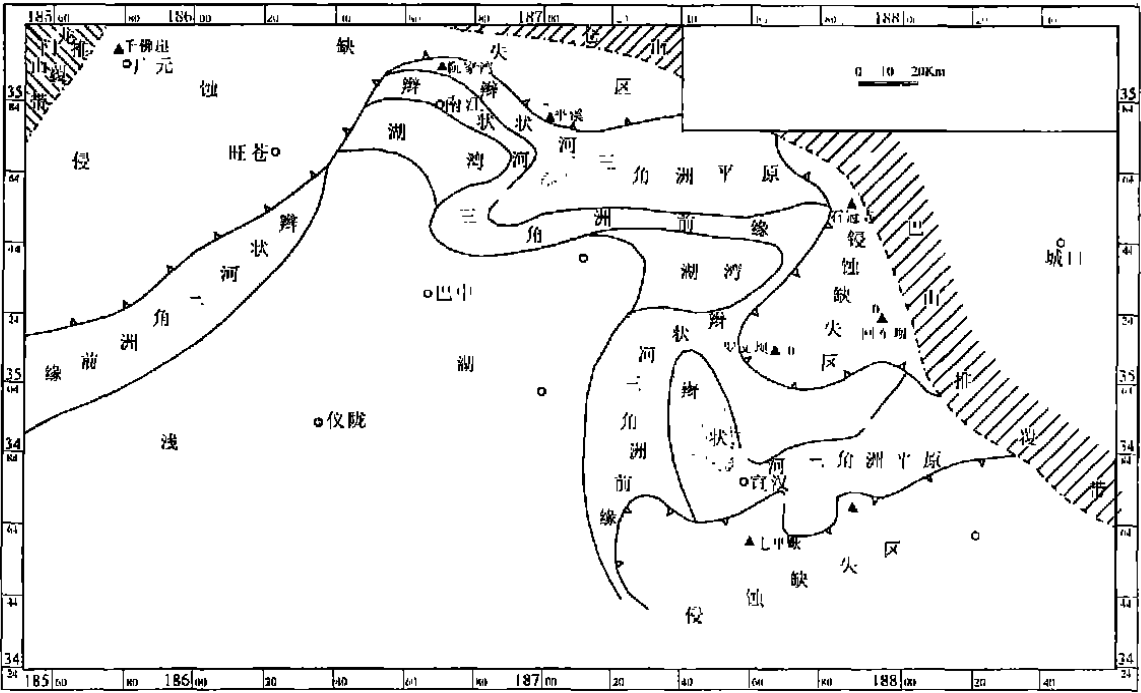


图 3 川东北前陆盆地 SLSC1 下降相域岩相古地理图  
(图例见图 2)

Fig. 3 Sedimentary facies and palaeogeographic map of the SLSC1 in the northeastern Sichuan foreland basin during the falling base-level phase ( See Fig. 2 for the explanation of symbols)

蚀作用影响,致使该超长期层序上部相当须六段的LSC5 长期层序大部分地区保存不完整或侵蚀缺失。

2. 上升相域演化特征

在SLSC2 上升半旋回早期,即 LSC3 的上升半旋回时期(须四段早期沉积阶段),基准面上升缓慢,而米仓山-大巴山构造隆升强烈,致使沉积物供给量远远大于新增的可容纳空间。在川东北前陆盆地盆缘主要表现为由冲积扇扇根-扇中,或扇三角洲平原-前缘沉积的中-粗砾岩、砾质粗砂岩和含砾中-粗砂岩,夹薄层杂色或暗色泥页岩、粉砂岩组成的向上水深加大、粒度变细和泥、碳质组分增多的进积→加积序列。沿米仓山-大巴山前缘地带不同程度地发育有冲积扇砾岩沉积,尤其在万源石冠寺和广元千佛崖地区特别发育,在南江阮家湾、通江平溪等地的须四段底部也不同程度地发育有砾岩层。

在SLSC2 上升半旋回晚期,即 LSC3 下降半旋回和LSC4 上升半旋回时期,川东北前陆盆地的沉积动力学特征与 SLSC1 上升半旋回晚期类似,主要表现为由反映连续湖进扩大的前扇三角洲、浅湖以及沼泽化分流间湾沉积的薄层暗色泥页岩夹粉砂岩、薄

煤层和煤线组成的持续加积→退积序列,偶尔夹有远砂坝、河口坝和前缘席状砂的粉-细砂岩透镜体。

3. 上升相域岩相古地理特征

与SLSC1 上升相域的古地理格局相比, SLSC2 上升相域以沿龙门山和米仓山-大巴山两逆冲推覆带前缘广泛发育有堆积巨厚块状砾岩的大型冲积扇沉积体系为显著特征(图 4), 尤以位于龙门山北段前缘的广元千佛崖和大巴山前缘的万源石冠寺一带的冲积扇砾岩分布范围更广、厚度更大和砾度更粗。在平面分布上, 围绕龙门山和米仓山-大巴山前缘, 快速堆积的冲积扇迅速进入前渊坳陷湖盆, 因此, 向湖一侧很快相变为辫状河三角洲, 各三角洲朵状体之间的侧面彼此相连, 构成环湖盆边缘分布的三角洲裙带和一个向南开口的大湖湾, 通江、巴中、平昌、仪陇位于湖湾中心地带, 以南地区是大片浅湖分布区, 其中在公 19 井-一营 24 井一带发育有浅湖砂坝。

4. 下降相域演化特征

SLSC2 下降半旋回由 LSC4 下降半旋回和 LSC5 长期旋回组成。与 SLSC1 下降半旋回相比, 该时期基准面下降幅度有所减缓, 可容纳空间的缩

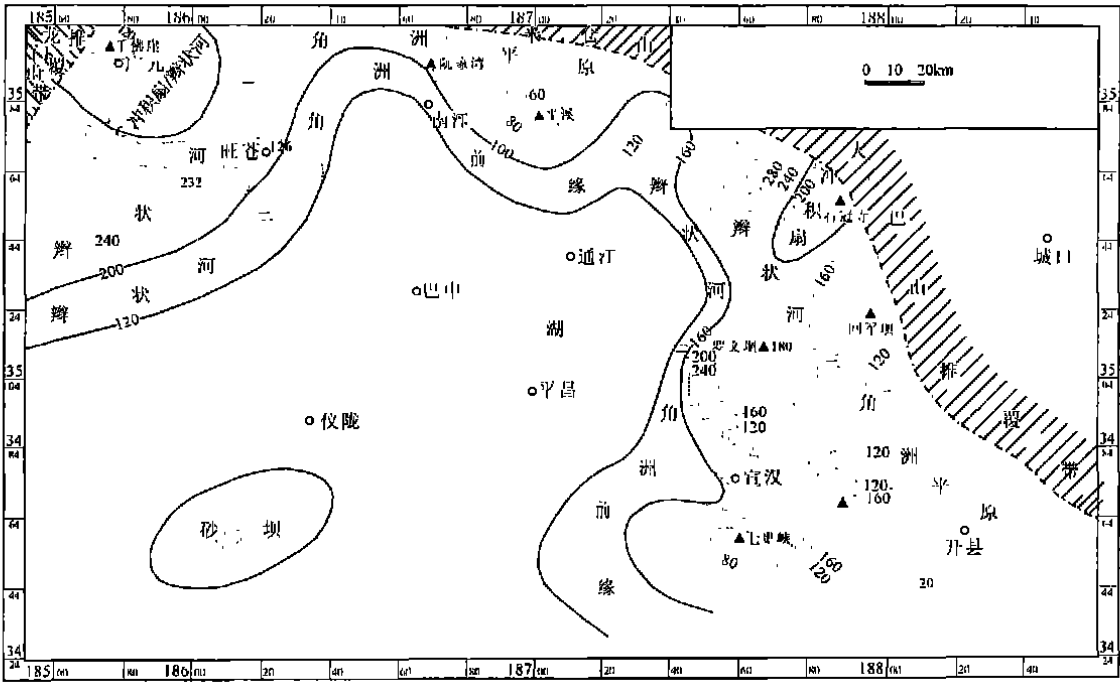


图 4 川东北前陆盆地 SLSC2 上升相域岩相古地理图  
(图例见图 2)

Fig. 4 Sedimentary facies and palaeogeographic map of the SLSC2 in the northeastern Sichuan foreland basin during the rising base-level phase ( See Fig. 2 for the explanation of symbols)

减速率也较缓慢,致使SLSC2下降半旋回沉积厚度相对较大。在SLSC2下降半旋回早期,川东北前陆盆地主要表现为湖泛扩张后相对稳定期的浅湖沼泽、前三角洲和分流间湾薄层暗色泥页岩、粉砂岩和薄煤层互层,在SLSC2下降半旋回晚期,主要表现为由三角洲前缘远砂坝和河口坝中厚层状粉—细砂岩、水下分流河道细—中粒砂岩夹分流间湾或分流间沼泽薄层暗色泥页岩、薄煤层和煤线组成,构成向上砂质组分明显增多加粗和水体变浅的加积→弱进积→进积序列。

5. 下降相域岩相古地理特征

SLSC2下降半旋回川东北前陆盆地的构造沉积格局基本继承了其上升半旋回的格局,只是在龙门山和米仓山-大巴山两前渊拗陷带交结的广元、旺苍及南江西部一带出现了明显的剥蚀区(图5),但分布面积远小于SLSC1的下降相域末期的剥蚀区面积。

4 结 论

在SLSC1超长期旋回时期,米仓山-大巴山的构造活动尚处于低幅隆升的稳定期,川东北前陆盆地

属于受龙门山逆冲推覆作用远端效应影响的前陆斜坡,沿米仓山-大巴山前缘地带主要发育辫状河三角洲沉积,盆地西南部主要为浅湖沉积。从SLSC2超长期旋回开始,米仓山-大巴山开始进入逆冲推覆阶段,引起川东北前渊拗陷大幅度沉降和沉积充填厚度迅速加大,大量沉积物自西向东、从北而南和由东朝西迅速注入盆地,并集中堆积在前渊拗陷带,在继承SLSC1超长期旋回沉积基础上,以形成沿龙门山和米仓山-大巴山两逆冲推覆带前缘广泛发育的、以巨厚块状砾岩为特征的大型冲积扇沉积体系为显著特征。

参考文献:

[1] 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): 315-324.  
[2] 罗志立, 宋鸿彪, 赵锡奎. C-俯冲带及对中国中西部造山带形成的作用[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(2): 1-7.  
[3] 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, 1996, 21(4): 366-372.  
[4] 孙肇才. 中国中西部中—新生代前陆类盆地及其含油气性——兼论准噶尔盆地内部结构单元划分[J]. 海相油气地质, 1998, 3(4): 16-30.

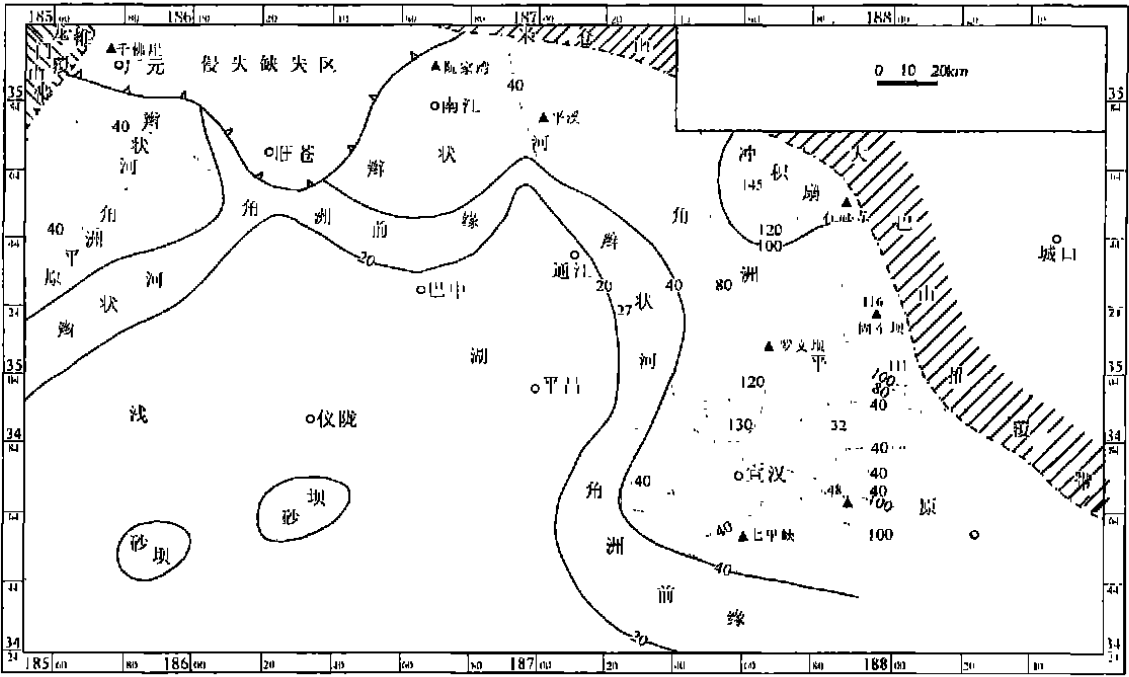


图5 川东北前陆盆地SLSC2下降相域岩相古地理图

(图例见图2)

Fig. 5 Sedimentary facies and palaeogeographic map of the SLSC2 in the northeastern Sichuan foreland basin during the falling base-level phase ( See Fig. 2 for the explanation of symbols)

- [ 5 ] 刘树根, 罗志立, 赵锡奎, 等. 试论中国西部陆内俯冲型前陆盆地的基本特征[ J ]. 石油与天然气地质, 2005, 26( 1 ): 37—48.
- [ 6 ] 刘树根, 罗志立, 赵锡奎, 等. 龙门山造山带—川西前陆盆地系统形成的动力学模式及模拟研究[ J ]. 石油实验地质, 2003, 25( 5 ): 432—438.
- [ 7 ] 刘树根, 罗志立, 赵锡奎, 等. 中国西部盆山系统的耦合关系及其动力学模式——以龙门山造山带—川西前陆盆地系统为例[ J ]. 地质学报, 2003, 77( 2 ): 177—186.
- [ 8 ] 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构与叠加样式[ J ]. 沉积学报, 2000, 18( 3 ): 369—375.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] 古俊林, 郑荣才, 罗平, 等. 川西坳陷中—南段须家河组层序地层格架与生储盖组合[ J ]. 成都理工大学学报, 2004, 31( 3 ): 282—290.

## The Upper Triassic Xujiahe Formation in the northeastern Sichuan foreland basin: Sequence-based sedimentary facies and palaeogeography

GAO Hong-can, ZHENG Rong-cai, KE Guang-ming, WEN Hua-guo

( Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China )

**Abstract:** The Xujiahe Formation sequences consist, in the light of tectonic and astronomic factors controlling high-resolution sequences, of two ultralong-, five long-, eighteen medium-, and many (ultra) short-period sequence cycles, of which the sedimentary facies and palaeogeography of the ultralong-period sequence cycles are accentuated in this paper. During the deposition of the ultralong-period sequence cycle (SLSC1), the steadily uplifting with low amplitudes occurred in the Micangshan-Dabashan tectonic mountain systems, while the thrusting was relatively active in the Longmenshan tectonic mountain systems. Then the northeastern Sichuan foreland basin was on the foreland slope influenced by distal effect of the preceding thrusting event. The braided stream-delta deposits are mostly developed in the Micangshan-Dabashan frontal zone, while the shallow lake deposits appear in the southwestern part of the basin. During the deposition of the ultralong-period sequence cycle (SLSC2), the thrusting was further strengthened in the Longmenshan area, whereas the rapid tectonic uplifting occurred in the Micangshan-Dabashan area. The large-scale subsidence took place in the northeastern Sichuan foreland basin. The alluvial fan depositional systems composed of thick massive conglomerates are well developed along the frontal zones of the Longmenshan and Micangshan-Dabashan thrust zones.

**Key words:** high-resolution sequence stratigraphy; sedimentary facies and palaeogeography; Upper Triassic; Xujiahe Formation; foreland basin; northeastern Sichuan