川东北类前陆盆地须家河组盆-山耦合 过程的沉积-层序特征

郑荣才1),朱如凯2),戴朝成1),高红灿1),翟文亮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,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

内容提要:根据层序界面识别和沉积序列综合分析,将川东北地区须家河组划分为2个超长期和5个长期基 准面旋回层序。此二个级别的层序结构和演化序列,较为清晰地反映了川东北前陆盆地晚三叠世须家河期盆-山 耦合过程,特点为:须二段一须三段"下成盆"期米仓山-大巴山造山带以低幅隆升为主,对应的川东北坳陷沉降幅度 小,物源供给与可容纳空间增长率稳定和基本持平,以发育辫状河三角洲-湖泊沉积体系为主,其层序结构以上升 与下降相域厚度近于相等的对称型为主,反映地层基准面相对稳定和均衡的盆-山耦合过程;须四段一须六段"上 成盆"期米仓山-大巴山开始进入强烈逆冲推覆和构造隆升阶段,川东北前陆盆地坳陷幅度急剧加大,碎屑物供给 量骤然和增多至远大于可容纳空间增长率,以发育冲积扇-扇三角洲-辫状河三角洲等粗碎屑岩为主的沉积体系为 主,其层序结构以上升相域厚度大于下降相域的不完全对称型,在造山带前缘则以发育仅保留上升半旋回沉积记 录的非对称型结构为主,反映地层基准面升、降变化大的非均衡盆-山耦合过程。

关键词:川东北;上三叠统须家河组;前陆盆地;盆-山耦合;基准面旋回;沉积序列;层序-岩相古地理

1 地质背景

川东北前陆盆地位于四川盆地北东部的米仓 山-大巴山弧形构造带前缘,属四川前陆盆地的重要 组成部分(施炜等,2007),范围包括:东起城口、开县 一线,西至剑阁、盐亭一带,北至南江、广元,南抵达 川、营山,面积约 12×10⁴ km²(图 1)。以印支期晚 幕构造不整合面为界,于上古生界一中三叠统海相 碳酸盐岩沉积基底之上充填有巨厚的晚三叠世一始 新世陆相地层(颜仰基等,1996)。

已有研究成果(刘和甫等,1994,1995,2000;罗 志立等,1995,2002;郭正吾等,1996;刘树根等, 1995,2003;李勇等,2006),业已证明四川中生代盆 地成因与大陆板块碰撞过程中,来自北西侧龙门山 造山带和北东侧米仓山-大巴山造山带侧向挤压的 冲断构造加载和巨厚沉积物的重力负荷双重作用, 导致位于俯冲陆块边缘的川西和川东北两地区岩石 圈发生强烈挠曲变形与构造沉降作用有关,成因上 虽然具有前陆盆地性质,但仍有别于具 A 型或 B 型 俯冲带的前陆盆地 (Dickinson, 1974; Allen and Homewood,1986),在国内外的压性盆地分类位置 中,被列为特殊成因类型的"C-型前陆盆地"、"中国 型盆地"、"前陆类盆地"和"类前陆盆地"等(罗志立 等,1995;陈发景等,1996;孙肇才,1998;刘树根等, 2005),本文采用陈发景教授的"类前陆盆地"观点对 其进行描述。四川类前陆盆地的盆-山耦合系统和 构造-沉积格局,主要受3个次系统控制(刘和甫等, 2000),分别是:①龙门山前陆褶皱冲断带及川西类 前陆盆地次系统;②大巴山前陆褶皱冲断带及川东 北类前陆盆地次系统;③雪峰山前陆褶皱冲断带与 川东一川东南类前陆盆次系统。因此,区域上具有 非常特征的三坳围一隆的构造-沉积格局(图1),其 中分别位于盆地北西部的川西坳陷和川东北部的川 东北坳陷都具有以沉降为主、相互连通和共同具备 同一前陆隆起的特殊构造性质,但又由于川西坳陷 和川东北坳陷所受到的龙门山和米仓山-大巴山两 造山带非同步的侧向挤压和逆冲影响,构造运动的 主应力场方位各异,因此,川西类前陆盆地和川东北

收稿日期:2008-03-25;改回日期:2008-07-06;责任编辑:周健。

注:本文为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"(编号 06-01A-02-01)资助成果。

作者简介:郑荣才,男,1950年生。教授,博士生导师,主要从事沉积地质学、层序地层学和石油地质学研究。Email:rongcaizheng@sohu.com。



图 1 川东北类前陆盆地位置图(黑框内为研究区) Fig. 1 Location of the study area of Northeast Sichuan analogous foreland basin (study area is in the pane) 1一逆冲断层;2—正断层;3构造单元边界;4—印支期古陆;5— 印支期褶皱带;6—前印支期褶皱带;7—连井剖面;F₁—龙门山 断裂带;F₂—彭灌断裂带;F₃—城口断裂带;F₄—巫溪-铁溪断裂 带;F₅—七跃山断裂带;F₆—华莹山断裂带;F₇—小江断裂带; F₈—普雄断裂带

1—Thrust fault;2—normal fault;3—tectonic unit boundary;4— Indosinian paleo-continent zone; 5—Indosinian fold zone; 6 before Indosinian fold zone; 7—cross-well profile; F_1 — Longmenshan fault zone; F_2 —Pengguan fault zone; F_3 — Chengkou fault zone; F_4 —Wuxi-Tiexi fault zone; F_5 —Qiyueshan fault zone; F_6 —Huayingshan fault zone; F_7 —Xiaojiang fault zone; F_8 —Puxiong fault zone

类前陆盆地的发展演化又具有非同步的,但又相互 制约的特殊性(郑荣才等,2008)。与川西类前陆盆 地构造演化特征对比,川东北类前陆盆地的构造演 化的独特性非常显著,表现为如下几个方面:①类前 陆盆地的形成和演化主要受米仓山-大巴山造山带 控制,自北东向南西方向,具备由米仓山-大巴山逆 冲推覆带逐渐过渡为川东北前渊坳陷带、川中前陆 斜坡一前陆隆起带的构造格局;②由于米仓山-大巴 山和龙门山两造山带的逆冲推覆作用是非同步的交 替过程,致使整个四川类前陆盆地晚三叠世一晚白 垩世的沉降和沉积中心不断地往复迁移于两个类前 陆盆地的前渊坳陷带(郑荣才等,2007);③对应于龙 门山造山带的构造平静期,是米仓山-大巴山造山带 的逆冲推覆活跃期,也是川东北坳陷带大幅度挠曲 沉降和中、新生代陆相地层的强烈沉积充填期,反之 亦然;④对应龙门山造山带的逆冲推覆活跃期,川西 类前陆盆地的强烈坳陷沉降和沉积充填作用出现在 晚三叠世须家河早期、晚侏罗世和晚白垩世,具有自 北西向南东方向减薄的楔状充填体特征(李勇等, 2006)。而对应米仓山-大巴山造山带的逆冲推覆活 跃期,川东北类前陆盆地强烈坳陷和沉积充填作用, 出现在须家河晚期早一中侏罗世和早白垩世,具有 自北东向南西方向减薄的楔状充填体特征。

仅就川东北类前陆盆地晚三叠世须家河期沉积 盆地而言,对应米仓山-大巴山造山带须家河早期的 平静期和晚期的逆冲推覆活跃期,其盆-山耦合过程 可划分为2个古地理面貌、沉积充填样式和层序结 构差异很大的成盆期(郭正吾等,1996;高红灿等, 2005):①"须下盆"成盆期(相当晚三叠世诺利克晚 期至瑞替克早期),由须家河组二段和三段组成,以 发育自南向北渐进式上超的辫状河三角洲-浅湖沉 积体系为主,厚度较薄、粒度较细而层位较稳定,以 砂岩为主,煤系地层相对不发育,与川西类前陆盆地 对应于龙门山造山带须家河早期逆冲推覆活跃期充 填的巨厚"须下盆"煤系地层形成鲜明对照(郑荣才 等,2008)。按盆-山间造山带隆升蚀顶与盆地横向 沉降充填的物质循环耦合关系(刘树根等,2003),对 应米仓山-大巴山造山带的低幅构造隆升,"须下 盆"盆-山耦合过程的沉积学响应为稳定坳陷和缓慢 充填的均衡地层过程;②"须上盆"成盆期(相当晚三 叠世瑞替克中、晚期),由须家河组四段一六段组成, 各岩性段都以广泛发育自北东向南西方向下超和快 速充填的冲积扇-扇三角洲-辫状河三角洲-浅湖沉积 体系为显著特征,厚度变化较大,以中、下部较粗的 砂、砾岩为主。如与川西类前陆盆地对比,川西地区 "须上盆"煤系地层较发育,但缺失六段,川东北地区 不仅"须上盆"厚度较大,须四段至须六段大部分地 区保存完好,煤系地层更发育,而且毗邻造山发育的 冲积扇砾岩不仅干须四至须六段中下部都有发育, 并以巨砾一卵石级的硅质砾岩为主,远粗于龙门山 造山带前缘的钙质砾岩。同样按盆-山间的物质循 环耦合关系,对应于米仓山-大巴山造山带于须家河 晚期开始的逆冲推覆活动期,"须上盆"盆-山耦合过 程的沉积学响应为强烈坳陷沉降和快速充填的非均 衡地层过程。

2 层序划分

层序界面的性质、成因、发育周期及产出规模决 定了层序划分的级次标准(郑荣才等,2001;邓宏文 等,2002),通过高分辨率层序界面类型识别和沉积 序列综合分析,将川东北类前陆盆地须家河组的沉





 1—砾岩;2—砂质砾岩;3—砂岩;4—粉砂岩;5—泥岩;SL1—超长期旋回层序及编号;L1—长期旋回层序及编号; M1—中期旋回层序及编号;LST—低位体系域;TST—湖侵体系域;HST—高位体系域;MFS—最大洪泛面
 1—Conglomerate;2—glutenite;3—sandstone;4—siltstone;5—mudstone;SL1—super long-term sequence cycles and number;
 L1—long-term sequence cycles and number;M1—middle-term sequence cycles and number;LST—lowstand system tract;
 TST—transgressive system tract;HST—highstand system tract;MFS—maximum flooding surface

积充填体划分为2个超长期、5个长期(L1~L5)和 13~15个中期基准面旋回层序(图2)。其中超长期 旋回分别对应于米仓山-大巴山二阶段构造活动期、 即盆-山耦合过程中的"须下盆"和"须上盆"成盆期, 5个长期旋回分别对应须二段至须六段(高红灿等, 2005),可与川西坳陷相对比(古俊林等,2004;郑荣 才等,2008)。在以中、长期旋回层序为等时地层单 元编制的地层格架中,"须上盆"和"须下盆"充填体 都具有自前缘坳陷带向逆冲推覆带逐层上超的层序 结构(图 3)。

3 沉积-层序特征

川东北类前陆盆地上三叠统须家河组长、中期 基面旋回所发育的层序结构,按沉积序列演化特征 可被划分为两种基本类型(郑荣才等,2000),其一为 仅保留上升半旋回沉积记录的不对称型(简称 A 型),其二为上升和下降半旋回沉积记录均得到保存 的对称型(简称 C 型),后者根据上升与下降半旋回 地层保存状况,可细分为 3 种亚类型:①上升半旋回 厚度大于下降半旋回的不完全对称型(简称 C_1 型); ②上升与下降半旋回半旋厚度近于相等的对称型 (简称 C_2 型);③上升半旋回厚度小于下降半旋回的 不完全对称型(简称 C_3 型)。

在川东北类前陆盆地中,伴随地层基准面上升 和有效可容纳空间向物源方向迁移,被截留在上游 地区的粗粒沉积物逐渐相对下游增多,沉积-层序充 填样式表现为由进积→加积→退积序列组成的向上 游溯源上超和连续加深的相序,其长期旋回由 A 型 和 C₁或 C₂型中、短期旋回层序叠加组成(图 2、3); 伴随地层基准面下降和有效可容纳空间向盆内方向 逐渐迁移,向下游或盆内方向粗粒沉积物逐渐增多, 沉积-层序充填作用主要表现为加积→进积序列组 成的向上顺源下超和连续变浅的相序,长期下降半 旋回主要由 C₂和 C₃型,偶为 A 型的中、短期旋回层 序叠加组成(图 2、3)。

3.1 须下盆沉积-层序演化特征

"须下盆"超长期旋回层序由分别相当须二段和 须三段的 L1 和 L2 长期旋回层序叠加组成,该时期 米仓山-大巴山造山带处于低幅隆升状态,物源供给 较为有限,因此以发育相对较稳定的辫状河三角洲-浅湖沉积体系为主,沉积-层序演化有如下几个特 点:①从盆地边缘到中心,L1 层序结构由 C₁型逐渐 转变为 C₂型,对称性变好,而 L2 层序结构由 C₂型 逐渐转变为 C₃型,对称性变差(图 3);②伴随地层基 准面的缓慢上升和可容纳空间的低速增长,沉积速 率处在略高于至略低于可容纳空间增量的缓慢转换 状态;③区域上,L1 和 L2 层序沉积厚度虽然较川西 均陷薄的多,但分布稳定,有较好的对比性;④由 L1 的 C₁或 C₂型结构为主,转换为 L2 的以 C₂型和 C₃ 型结构为主的辫状河三角洲→浅湖(沼泽)相沉积的 垂向演化序列,反映构造坳陷与沉积充填作用都较 稳定的均衡地层过程。

3.1.1 L1(须二段)沉积序列和层序结构

L1 层序(须二段)沉积作用发生在四川盆地由 海相向陆相过渡的转折期(郭正吾等,1996),以其底 部广泛发育的构造不整合面,标志四川盆地由卡尼 克期一诺利克早期的周缘前陆盆地阶段(刘和甫等, 1994、2000),转入到诺利克晚期一瑞替克期、即须家 河期的类前陆盆地构造演化阶段。该时期前陆盆地 的沉积-构造演化受龙门山造山带逆冲推覆作用控 制,沉降-沉积中心位于川西坳陷内,而位处前隆斜 坡带的川东北地区以稳定低幅坳陷为主,沉积充填 厚度为 121~559 m,平均 311 m,远小于川西坳陷 616 m 的平均厚度。区域上以发育辫状河三角洲沉 积体系为主(图 4a),如在米仓山前缘的通江平溪和 南江阮家湾,大巴山前缘的万源石冠寺、固军坝和宣 汉七里峡等地都发育有辫状河三角洲沉积体系,辫 状分流河道砂体大多数呈相互叠置的透镜状产出, 粒度较粗,大型斜层理和底冲刷构造非常发育,是川 东北地区须家河组储层的主要发育层位。砂体间夹 有分流间湾和沼泽微相的薄层泥岩、粉砂质泥岩和 薄煤层,含大量植物茎干化石。

L1 沉积-层序的发育受局部构造环境变化和基 准面升、降过程控制明显:基准面上升期,伴随可容 纳空间增大和向陆方向溯源迁移,具有自前渊坳陷 带向北侧盆缘造山带和南侧前陆隆起带两方向上超 变薄的特点(图 3)。沉积物供给量总体上大于可容 纳空间,水进序列保存相对较完整,主要由辫状分流 河道→天然堤→分流间湾等向上变深的相序和韵律 层叠置而成(图 5a),组成以 A 型结构为主的次级层 序叠加样式;最大湖泛期,川东北大部分地区进入滨 浅湖和前三角洲环境,广泛沉积兼具烃源岩和隔层 性质的暗色泥岩段(俗称"腰带子",图2),形成须二 段最重要的区域等时对比标志层(图 3);基准面下 降期,伴随可容纳空间缩小和向盆地方向顺源迁移, 于湖泛期形成的较大可容纳空间使下降期沉积物得 到不同程度的保存,厚度明显小于上升相域,通常由 多个彼此间具成因联系的、向上略趋变浅的河口坝, 废弃或间歇决口河道及分流间湾等微相的砂、泥岩 韵律层叠置而成,组成以C2型为主,局部为C3型和 A型结构的下降相域次级层序叠加样式(图 5a)。

3.1.2 L2(须三段)沉积序列和层序结构

L2 层序(须三段)沉积作用发生在四川盆地周 缘构造山系逆冲推覆活动的休眠期,其上升和下降



图 3 川东北类前陆盆地须家河组层序地层格架及充填样式

Fig. 3 Sequence stratigraphic framework and filling pattern of Xujiahe Formation in the northeastern Sichuan analogous foreland basin
 1-砾岩;2-砂质砾岩;3-砂岩;4-粉砂岩;5-泥岩;6-泥灰岩;L1-长期旋回层序及编号;M1-中期旋回层序及编号;LST-低位体系域;TST-湖侵体系域;HST-高位体系域
 1-Conglomerate;2-glutenite;3-sandstone;4-siltstone;5-mudstone;6-marl;L1-long-term sequence cycles and number;M1-middle-term sequence cycles and number;

LST-lowstand system tract; TST-transgressive system tract; HST-highstand system tract



Fig. 4 Sedimentary facies of $T_3 x^2$ (a), $T_3 x^3$ (b), $T_3 x^4$ (c) and $T_3 x^5$ (d) Member of Xujiahe Formation

in the northeastern Sichuan foreland basin

1一沉积相分界线;2一地层等厚线(m);3一印支期古陆;4一间歇暴露沉积区

1—Sedimentary facies boundary;2—stratigraphic isopach (m);3—Indosinian paleo-continent;4—intermission expose sedimentary area

相域的次级层序结构分别以 C₂型和 C₃型叠加样式 为主(图 3),反映稳定低幅沉降条件下的弱欠补偿 沉积状态。以自南西向北东古陆方向迁移的沉积超 覆面为层序界面,主体以发育滨湖泥岩、浅湖泥岩夹 滩坝砂岩的薄互层组合为主(图 5b),局部夹有薄层 湖一沼相暗色泥岩,虽然厚度普遍较薄,仅为 80~ 100 m,并具有向北东方向明显减薄的变化趋势,但 却是川东北地区须家河组重要的烃源岩和盖层发育 层位之一。较粗粒的沉积出现在米仓山前缘的南江 阮家湾一平溪和大巴山前缘的万源固军坝一坡 2 井 等地,砂体累积厚度一般为 60~80 m,属于小型三 角洲沉积体系(图 4b)。

3.2 须上盆沉积层序和演化特征

以须四段底部遍及整个四川盆地的"安县运动 不整合面为界(王金琪,2003),所对应的米仓山-大 巴山构造带进入强烈逆冲推覆构造活动期,川东北 地区开始进入类前陆盆地演化阶段,并由分别相当 须四段至须六段的 L3 至 L5 长期旋回层序叠加组 成"须上盆"超长期旋回层序。在超长期旋回层序 中,除了相当须六段的 L5 层序于川西坳陷侵蚀缺 失之外,其余各长期旋回层序于整个四川盆地范围 内都具有较好的可对比性。就川东北地区而言,伴 随米仓山-大巴山造山带逆冲推覆构造活动加强,强 烈隆升的米仓山-大巴山构造山系为川东北坳陷提 供了大量粗碎屑沉积物,致使沉积物供给骤然增多 变粗,区域沉积格局和层序演化较"须下盆"发生巨 大变化,有如下特点:①川东北坳陷沉降幅度持续增 强,致使"须上盆"沉降-沉积中心开始由川西坳陷向 川东北坳陷迁移,沉积厚度相对"须下盆"明显加大 (图 3); ②L3 层序以发育快速堆积的冲积扇-扇三角 洲-湖泊沉积体系为主,之后的 L4 和 L5 层序以发 育辫状河-曲流河三角洲-湖泊沉积体系为主,并以 盆缘的各层序下部都发育有冲积扇或扇三角洲砾岩 为重要特色;③从盆缘到中心,L3 层序以发育对称 性很差的 C₁型结构为主,局部出现 A 型结构。L4 层序于盆缘以发育 C₁型结构为主,向盆内逐渐转变 为以 C₂和 C₃型为主,对称性变好。L5 层序因受到 晚三叠世末期强烈构造隆升和剥蚀作用影响,大部



图 5 川东北前陆盆地须家河组二权和二权加偿户列和运行结构特征
 Fig. 5 The sequence structure of T₃x²-T₃x³ formations in the northeastern Sichuan foreland basin

 (a) 一辫状河三角洲沉积相和层序结构(石冠寺剖面,T₃x²);(b) 一湖泊相和层序结构(川岳 83 井,T₃x³);

1一砾岩;2一砂质砾岩;3一砂岩;4一粉砂岩;5一粉砂质泥岩;6一泥岩

(a)—The sequence structure of T_3x^2 (Shiguansi profile); (b)—the sequence structure of T_3x^3 (well CY83);

1-conglomerate; 2-glutenite; 3-sandstone; 4-siltstone; 5-silty mudstone; 6-mudstone

分层序的下降相域保存不完整,甚至侵蚀缺失,致使 层序结构发生强烈变异,一般为以下降相域被强烈 侵蚀变异形成的 C_1 型和 A 型结构为主,个别保存较 完整的具有 C_2 和 C_3 型结构;④伴随地层基准面快速 上升和可容纳空间迅速增大,每一个长期旋回层序 中都出现了沉积物供给量由远大于可容纳空间经接 近至小于可容纳空间状态的变化,层序结构由 L3 的 C_1 型为主,转换为 L4 的 C_2 和 C_3 型为主,至 L5 以 发育结构变异而成的 C_1 型和 A 型为主的垂向演化 序列,反映早、中期(L3→L4)构造坳陷幅度大,沉积 充填作用强烈,而晚期(L5)有强烈隆升与剥蚀作用 的非均衡地层过程。

3.2.1 L3(须四段)沉积序列和层序结构

L3 层序(须四段)沉积作用,发生在米仓山-大 巴山造山带刚开始进入强烈逆冲推覆的构造隆升 期,在基准面快速上升期的湖侵过程中,由于川东北 坳陷始终处于沉积物供给量远大于新增可容纳空间 的超补偿→补偿状态,致使基准面上升期可容纳空 间始终处于填满状态,下降期不但缺乏沉积物堆积 空间,而且在基准面穿越沉积界面的过程中对上升 期堆积沉积物也有程度不同的侵蚀作用,因此,该时 期沉积-层序的岩相古地理面貌和层序结构相对前 期变化很大,主要特点为:①造山带前缘以发育粗碎 屑岩沉积为主(图 4c),如米仓山前缘发育有南江阮 家湾冲积扇和通江平溪扇三角洲,大巴山前缘发育 有万源石冠寺冲积扇,宣汉固军坝和七里峡扇三角 洲等多个粗碎屑岩沉积体系:②上升相域不仅沉积 厚度大而且很粗,一般为 250~300 m,主要由相互 叠置截切的泥石流和辫状分流河道微相的硅质粗碎 屑岩组成,横向剖面上具有冲积扇扇根→扇中,或扇 三角洲平原→前缘的巨砾—卵石岩、中—粗砾岩、砾 质砂岩和含砾中一粗粒砂岩为主,夹薄层杂色或暗 色泥页岩、粉砂岩的组合。垂向剖面上,具有自下而 上水体略趋加深和粒度变细,泥、碳质组分增多的进 积→加积→退积序列,以层序中、下部辫状分流河道 微相的砂砾岩进积作用最为强烈,发育有 A 型结构 为主的次级层序叠加样式(图 6a),次级层序界面多 为具有强烈底冲刷作用的侵蚀面;③下降相域厚度 很薄,一般为50~80 m,局部地区侵蚀缺失,一般为 砂、泥岩薄互层组合的前三角洲、河口坝、水下分流 河道和分流间湾等微相组合,往往具有向上水体变 浅和粒度略变粗的加积→弱进积序列,具有以 C₂和 C₃型为主的次级层序叠加样式(图 6a)。

3.2.2 L4(须五段)沉积序列和层序结构特征

L4 层序(须五段)沉积作用,发生在四川盆地周 缘山系构造活动相对不活跃的又一休眠期,也是继 前期强烈坳陷和快速充填后的稳定沉降期。该时期 沉降-沉积中心已从川西坳陷迁移位于川东北坳陷, 其岩相古地理面貌与 L3 层序有较大差异,盆缘除 了在万源石冠寺发育有冲积扇,一般以发育辫状河-



曲流河三角洲-湖泊和沼泽沉积体系为主(图 4d), 厚度较薄为 120~280 m。盆内与须三段相似,也以 广泛发育滨、浅湖和沼泽相的大套暗色泥岩、粉砂 岩、碳质泥岩夹薄煤层组合为主,厚度较大,为300

图 6 川东北前陆盆地须家河组沉积序列和层序结构类型

Fig. 6 The types of sequence structure of Xujiahe Formation in the northeastern Sichuan foreland basin
(a)—A型和 C₁型层序结构(川 81 井,T₃x⁴);(b)—C₂型层序结构
(川 64 井,T₃x⁵);(c)—C₁型层序结构(坡 2 井,T₃x⁶);1—砾岩;2— 砂质砾岩;3—砂岩;4—粉砂岩;5—粉砂质泥岩;6—泥岩;7—煤层
(a)—the A and C₁ types of sequence structure(well CH81,T₃x⁵);
(b)—the C₂ type of sequence structure(well C64,T₃x⁵); (c)—the C₁ type of sequence structure of (well P2,T₃x⁶);1—conglomerate;
2—glutenite; 3—sandstone; 4—siltstone; 5—silty mudstone; 6 mudstone;7—coal seam

~400 m,是川东北地区最重要的煤系地层和烃源岩 与区域性盖层发育层位。在三角洲沉积相区,其上升 相域由分流河道、前缘席状砂、分流间湾及前三角洲 等向上加深变细的相序组成,具有以 C₂型为主的次 级层序叠加样式,次级层序界面通常为弱冲刷面。下 降相域由前三角洲、远砂坝、河口坝和分流河道等向 上变浅的相序组成,具有以 C₃型为主的次级层序叠 加样式,次级层序界面多为整合界面。在湖泊相带, 由浅湖砂坝、浅湖泥组成向上加深的相序、上升和下 降相域的次级层序,分别为 C₁型和 C₃型叠加样式(图 6b),次级层序界面也多为整合界面。

3.2.3 须六段沉积序列和层序结构特征

L5 层序(须六段)沉积作用,发生在川东北坳陷 持续大幅度沉降后的稳定沉降状态,伴随可容纳空 间递增速度的减缓和消失,沉积物供给充沛,因此, 以发育旋回交替的、不断向盆内大幅度推进的辫状 河-曲流河三角洲沉积体系为主(图7),其上升相域 主要由水下分流河道细-中粒砂岩夹分流间湾或分 流间沼泽薄层暗色泥页岩、薄煤层和煤线等向上加 深变细的相序组成,具有以 C₁型为主,个别为 A 型 的次级层序叠加样式(图 6c)。下降相域主要由前 三角洲(或浅湖相)暗色泥岩、粉砂质泥岩与远砂坝 和河口坝(或滨浅湖滩坝微相)微相的中一厚层粉一 细砂岩组成向上水体变浅和砂质组分增多和略变粗 的相序(图 6c),具有以 C₃型为主的次级层序叠加样 式,次级层序界面也多为整合界面。

晚三叠世末期至早侏罗世初期的印支运动晚 幕,川东北地区因受区域性强烈隆升成陆影响,须六 段遭到不同程度的剥蚀作用,形成上三叠统与下侏 罗统之间的区域构造不整合面,所保存的须六段呈 北东向宽带状展布于川东北坳陷与川中古隆起之 间,以川东北地区和前陆隆起北东侧斜坡带的广安 地区厚度最大,层序结构强烈变异,但中、下部的砂 体往往保存较好,为重要的储层发育部位。



Fig. 7 Sedimentary facies of T₃x⁶ Formation in the Northeastern Sichuan Foreland Basin
1—沉积相分界线;2—地层等厚线(m);3—印支期古陆; 4—间歇暴露沉积区

1—Sedimentary facies boundary;2—stratigraphic isopach (m); 3—Indosinian paleo-continent;4—intermission expose sedimentary area

4 结论

(1)通过层序界面类型识别和沉积序列综合分析,可将川东北地区须家河组划分为2个超长期和 5个长期基准面旋回层序。其中2个超长期旋回层 序分别对应于米仓山-大巴山构造山带低幅隆升的 "须下盆"和强烈逆冲推覆的"须上盆"二个成盆构造 活动期,而5个长期旋回层序分别对应于须二段至 须六段。

(2)对应龙门山和米仓山-大巴山两造山带非同 步但交替发育的逆冲推覆过程和造山带隆升蚀顶与 盆地横向沉降充填的盆-山间物质循环耦合关系,四 川前陆盆地晚三叠世一白垩纪的沉降-沉积中心于 川西类前陆盆地和川东北类前陆盆地之间往复迁 移,因此,所控制的盆地沉降与沉积充填作用之间的 盆-山耦合过程,于川西坳陷与川东北坳陷之间也是 非同步和交替转换的演化关系。

(3)分别相当须二段和须三段的 L1→L2 沉积-层序演化,发生在米仓山-大巴山造山带低幅隆升构 造背景条件下,川东北坳陷稳定低幅沉降,物源物供 给稳定和较细,以发育辫状河三角洲-浅湖沉积体系 为主。沉积速率与构造沉降速率基本持平,可容纳 空间稳定,以发育上升半旋回厚度和下降半旋回基 本相等的对称型层序结构为主,反映相对稳定和均 衡地层过程的盆-山耦合关系。

(4)分别相当须四段—须六段的 L3→L5 沉积-

层序演化,发生在米仓山-大巴山造山带强烈逆冲推 覆和大幅度隆升构造背景条件下,川东北坳陷急剧 大幅度沉降,地层基准面快速上升,可容纳空间迅速 扩大,强烈隆升的构造山系为前缘坳陷提供大量粗 碎屑沉积物,以发育冲积扇-扇三角洲-辫状河三角 洲-浅湖沉积体系为主,早、中期(L3→L4 层序)以发 育上升半旋回厚度远大于下降半旋回的对称型很差 的 C₁型层序为主,晚期受强烈的区域性构造隆升和 侵蚀影响,层序结构发生变异,总体反映了一种沉积 速率远大于构造沉降速率的、伴有构造强烈隆升与 剥蚀作用的非均衡地层过程的盆-山耦合关系。

参考文献

- 陈发景,汪新文,张光亚,等.1996.中国中、新生代前陆盆地的构造特 征和地球动力学.地球科学,21(4):366~372.
- 邓宏文,王红亮,祝永军,等.2002.高分辨率层序地层学——原理及 应用.北京:地质出版社,3~24.
- 高红灿,郑荣才,柯光明,等.2005. 川东北前陆盆地须家河组层序--岩相古地理特征. 沉积与特提斯地质,25(3):38~45.
- 古俊林,郑荣才,罗平,等.2004. 川西坳陷中一南段须家河组层序地 层格架与生储盖组合. 成都理工大学学报,31(3):282~290.
- 郭正吾,邓康龄,韩永辉,等.1996.四川盆地形成与演化.北京:地质 出版社,113~138.
- 李勇,Allen P A,周荣军,等.2006. 青藏高原东缘中新生代龙门山前 陆盆地动力学及其与大陆碰撞作用的耦合关系. 地质学报,80 (8):1101~1109.
- 刘和甫.1995.前陆盆地类型及褶皱一冲断层样式.地学前缘,2(3~4):59~68.
- 刘和甫,梁惠社,蔡立国,等.1994.川西龙门山造山冲断系构造与前 陆盆地演化.地质学报,68(2):101~113.
- 刘和甫,汪泽成,熊保贤,等. 2000.中国中西部新生代前陆盆地与挤 压造山带耦合分析.地学前缘,7(3):55~72.
- 刘树根,罗志立,戴苏兰,等.1995.龙门山冲断带的隆升与川西前陆 盆地的沉降.地质学报,69(3):205~214.
- 刘树根,罗志立,赵锡奎,等.2003.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. 地质学报,77(2):177~186.
- 刘树根,罗志立,赵锡奎,等.2005.试论中国西部陆内俯冲型前陆盆 地的基本特征.石油与天然气地质,26(1):37~48.
- 罗志立,宋鸿彪,赵锡奎.1995. C-俯冲带及对中国中西部造山带形成 的作用.石油勘探与开发,22(2):1~7.
- 罗志立,刘树根.2002. 评述"前陆盆地"名词在中国西部含油气盆地 中的应用. 地质论评,48(4):398~407.
- 施炜,董树文,胡健民,等.2007.大巴山前陆西段叠加构造变形分析 及其构造应力场特征.地质学报,81(10):1315~1327.
- 孙肇才.1998.中国中西部中一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.海相油气地质,3(4):16~ 30.
- 王金琪. 2003. 龙门山印支运动主幕辨析——再论安县构造运动. 四 川地质学报,23(2):65~69.

- 颜仰基,吴应林.1996 巴颜喀拉一川西边缘前陆盆地演化. 岩相古地 理,16(3):16~29.
- 郑荣才,翟文亮,朱如凯,等.2008.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.中国地质,35(2):246~255.
- 郑荣才,彭军,吴朝容.2001.陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究 意义.沉积学报,19(2):249~255.
- 郑荣才,尹世民,彭军.2000 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力 学分析.沉积学报,18(3):369~375.
- Allen P A, Homewood P. 1986. Foreland Basin. Oxford: Blackwell Scientific Publication.
- Chen Fajing, Wang Xinwen, Zhang Guangya, et al. 1996. Tectonic features and geodynamics of Mesozoic and Cenozoic foreland basins in China. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 21 (4): 366 ~ 372 (in Chinese with English abstract).
- Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun, et al. 2002. Highresolution Sequence Stratigraphy. Beijing: Geological Publishing House, 3~24(in Chinese).
- Dickinson W R. 1974. Plate tectonics and sedimentation. In Dickinson W R, et al., ed, Tectonics and Sedimentation. Society of Economic Paleontoloists and Minlogists, Special Publication,22:1~27.
- Gao Hongcan, Zheng Rongcai, Ke Guangming, et al. 2005. The Upper Triassic Xujiahe Formation in the northeastern Sichuan foreland basin: Sequence-based sedimentary facies and palaeogeography. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 25(3):38~45(in Chinese with English abstract).
- Gu Junlin, Zheng Rongcai, Luo Ping, et al. 2004. Sequence stratigraphic framework and source-reservoir-cap rock of Xujiahe Formation in West Sichuan depression. Journal of Chengdu University of Technology, 31(3):282(in Chinese with English abstract).
- Guo Zhengwu, Deng Kangling, Han Yonghui, et al. 1996. the Formation and the Evolvement of Sichuan Basin. Beijing: Geological Publishing House, 3~24(in Chinese).
- Li Yong, Allen P A, Zhou Rongjun, et al. 2006. Mesozoic— Cenozoic dynamics of Longmenshan foreland basin along the eastern margin of the Tibetan Plateau and its coupled relationship with continnent collision. Acta Geologica Sinica, 80 (8):1101~1109 (in Chinese with English abstract).
- Liu Hefu, Lian Huishe, Cai Liguo, et al. 1994. Structural styles of the Longmenshan thrust belt and evolution of the foreland basin in western Sichuan Province, China. Acta Geologica Sinica, 68 (2):101~113(in Chinese with English abstract).
- Liu Hefu. 1995. Classification of foreland basins and fold thrust style. Earth Science Frontiers, $2(3 \sim 4):59 \sim 68$ (in Chinese with English abstract).
- Liu Hefu, Wang Zecheng, Xiong Baoxian, et al. 2000. Coupling analysis of Mesozoic—Cenozoic foreland basin and mountain system in central and western China. Earth Science Frontiers, 7 (3):55~72(in Chinese with English abstract).
- Liu Shugen, Luo Zhili, Dai Sulan, et al. 1995. The uplift of the

Longmenshan thrust belt and Subsidence of the western sichuan foreland basin. Acta Geologica Sinica, 69(3): $205 \sim 214$ (in Chinese with English abstract).

- Liu Shugen, Luo Zhili, Zhao Xikui, et al. 2003. Coupling relationships of sedimentary basin-orogenic belt systems and their dynamic models in West China—A case study of the Longmenshan orogenic belt—West Sichuan foreland basin system. Acta Geological Sinica 77(2):177~186(in Chinese with English abstract).
- Liu Shugen, Luo Zhili, Zhao Xikui, et al. 2005. Discussion on essential characteristics of intracontinental-subduction type foreland basins in western China. Oil & Gas Geology, 26(1): 37~48(in Chinese with English abstract).
- Luo Zhili, Song Hongbiao, Zhao Xikui. 1995. C-subduction and its roles in the evolution of the orogenic belts in central-western China. Petroleum Exploration and Development, $22(2):1 \sim 7$ (in Chinese with English abstract).
- Luo Zhili, Liu Shugen. 2002. Comments on the citation of the term "foreland basin" in the petroliferous basins of central and western China—a review on the development of Chinese petroleum tectonics. Geological Review, 48(4):398~ 407 (in Chinese with English abstract).
- Shi Wei, Dong Shuwen, Hu Jianmin. et al. 2007. An analysis of superposed deformation and tectonic stress fields of the western segment of Daba Mountains foretland. Acta Geologica Sinica, 81(10):1315~1327 (in Chinese with English abstract).
- Sun Zhaocai. 1998 Mesozoic—Cenozoic foreland basins and their hydrocarbon prospect in middle and western parts of China, as well as division of internal texture units in Gunggar Basin/Sun. Marine Origin Petroleum Geology, 3 (4): 16 ~ 30 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jinqi. 2003. Recognition on the main episode of Indo-China Movement in the Longmen Mountains—A re-review on the Anxian tectonic movement. Acta Geologica Sichuan, 23(2):65 ~69(in Chinese with English abstract).
- Yan Yangji, Wu Yinglin. 1996. Evolution of the Bayan har—west Sichuan peripheral foreland basin in southwestern China. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 16(3):16~29(in Chinese with English abstract).
- Zheng Rongcai, Zhai Wenliang, Zhu Rakai, et al. 2008. Tectonic evolution and sequence filling patterns in the western Sichuan foreland-like basin in the Upper Triassic Xujiahean Period. Geology in China, 35(2):246~255(in Chinese with English abstract).
- Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. 2001. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications. Acta Sedimentologica Sinica, 19 (2): 249 ~ 255 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Rongcai, Yin Shiming, Peng Jun. 2000. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level Cycle. Acta Sedimentologica Sinica, 18(3);369~375 (in Chinese with English abstract)

Depositional Sequence Features during Coupling Process Between Basin and Mountain of the Xujiahe Formation of Upper Triassic in the Foreland Basin, NE Sichuan

ZHENG Rongcai¹⁾, ZHU Rukai²⁾, DAI Chaocheng¹⁾, GAO Hongcan¹⁾, ZHAI Wenliang¹⁾

1) State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation,

Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059;

2) Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir of CNPC, Beijing, 100083

Abstract

Using the multifactorial analysis of identification of boundary sequence and depositional sequences, the Xujiahe Formation in NE Sichuan can be divided into two extremely long and five long base-level cycle sequences. The sequence structure and evolution of both sequences have clearly reflected the coupling process between basin and mountain of the Xujiahe Formation of Upper Triassic in the northeastern Sichuan foreland basin. It is characterized mainly by low-amplitude uprising of the Mingcanshan-Daban orogenic belt during the lower basin-forming period of $T_3 x^2$ - $T_3 x^3$ member, and by low-amplitude subsiding of the northeast depression. Material supply was basically balanced with the low amplitude of accommodating space. Braided river delta - lake sedimentary system was main system developed, and its sequence is characterized by that the thickess of rising equals to that of subsiding, reflecting a relatively stable coupling of basin and mountain. During the upper basin-forming period of $T_3 x^4 - T_3 x^6$ members, the Micangshan-Dabashan Mountains entered an stage of intensive thrusting-napping and uplifting, resulting in a sudden, rapid subsidence of the foreland basin in NE Sichuan. Clastic sediments increased so dramatically that accommodation space was unable to store. Therefore, alluvial fan-fan delta-braided river delta sedimentary system developed, with uplifting thickness more than that of subsiding. The rising cycle of base-level sedimentary sequence, retained in the front of orogenic belt, is asymmetric, reflecting a great imbalanced coupling process of basin and mountain with the base-level sequence uplifting and subsiding.

Key words: Northeastern Sichuan; Xujiahe Formation of Upper Triassic; foreland basin; coupling process between basin and mountain; base-level cycle; sedimentary sequence; sequence lithofacies and paleogeography