

文章编号:1000-0550(2011)04-0622-09

龙门山造山带晚三叠世构造隆升的分段性及层序充填响应^①

陈洪德^{1 2} 徐胜林^{1 2} 林良彪^{1 2} 侯明才^{1 2} 陈安清³

(1. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学) 成都 610059;

2. 成都理工大学沉积地质研究院 成都 610059; 3. 浙江大学 海洋科学与工程学系 杭州 310058)

摘要 川西类前陆盆地与龙门山造山带为一个典型的盆—山系统。从川西地区的层序充填特征出发,分析了龙门山造山带晚三叠世隆升作用与川西类前陆盆地充填过程的耦合关系。认为盆内充填的由砂砾岩组成的类磨拉石建造和三个结构明显的构造层序,反映了龙门山晚三叠世隆升强度的幕次变化;同时盆地北部、中部和南部地区层序结构的差异性揭示了龙门山造山带隆升分段性:受印支运动的影响,北段于小塘子期(TS1BW)开始隆升,向盆地供源,形成以中细粒沉积物为特征的三角洲沉积区,区别于盆地中部和南部地区来自东部川中古隆起的碎屑沉积物;须三期(TS2BW),南部地区以发育来自西部造山带的低成熟度砂岩为特征,标志着龙门山南段亦开始隆升;由于须三(TS2BW)与须四(TS3BE)间的安县运动,中段的海湾消失,龙门山全面隆升,前陆盆地最终成型,形成山前带状展布的河流—三角洲体系。

关键词 层序充填响应 川西类前陆盆地 龙门山造山带 分段性隆升 晚三叠世

第一作者简介 陈洪德 男 1956 年出生 博士 博士生导师 层序地层学与含油气盆地分析 E-mail: chd@cdut.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

龙门山造山带主体位于四川省境内,夹于松潘陆块和扬子陆块之间,北与昆仑—秦岭东西向造山带斜交,南与康滇南北向构造带相连,呈北东—南西走向(图1)^[1-2]。由于龙门山造山带独特的大地构造位置及其地形上的典型特征,早在20世纪20年代我国地质学家赵亚曾先生就开展了相关的研究,其后随着地质学理论的发展和龙门山地区矿产资源的勘探发现,该造山带及其毗邻的川西盆地备受世人瞩目,涌现了大量的科研成果和认识^[3-4]。罗志立以龙门山造山带及其毗邻的四川盆地为研究对象,提出了C型俯冲带(Chinese-Subduction)这一观点,并以龙门山冲断带为例予以验证^[3];在此基础上,刘树根、罗志立进一步指出龙门山冲断带为L型俯冲(Longmenshan Subduction)^[4];其后随着认识的深入将C型—俯冲理解为陆内俯冲(Intracontinental Subduction)^[5]。郑荣才等采用川西类前陆盆地这一概念,以高分辨率层序地层学为指导,详细的研究了川西地区晚三叠世须家河期构造演化及层序充填样式,认为龙门山造山带的

活动具有韵律性^[6]。

但是由于龙门山造山带问题的复杂性,尚有许多问题仍未能予以较好的解决,如由于龙门山造山带的隆升引发的川西前陆盆地的形成时代就争议较多,邓康龄^[7],曾允孚和李勇^[8]等为代表的大部分学者认为四川盆地由被动大陆边缘盆地转折为前陆盆地的起始时间确定在晚三叠世诺利克早期,以小塘子组的底界为分界线^[7-8];许效松等^[9]则认为四川盆地从碳酸盐台地到前陆盆地的转折时期是中三叠世拉丁期的晚期(相当雷口坡晚期, T_2l),并且经历了边缘前陆盆地阶段(T_3m-T_3xt)后造山(陆相磨拉石)前陆盆地阶段(T_3x-K_2),至晚白垩世开始萎缩,到始新世末衰亡^[9];郑荣才等(2008)将川西前陆盆地形成的起始时间确定在卡尼克早期,以马鞍塘组(T_3m)与下伏雷口坡组(T_2l)之间的构造不整合面为川西地区开始进入前陆盆地演化阶段的起始标志^[6]。此类问题的存在,吸引着我们继续展开相关研究。20世纪80年代地质学家们通过研究认识到构造活动对沉积盆地的沉积物充填类型及充填特征起着重要的影响,因

^①国家自然科学基金重点项目(批准号:40739901)资助。
收稿日期:2010-11-05;收修改稿日期:2011-01-15

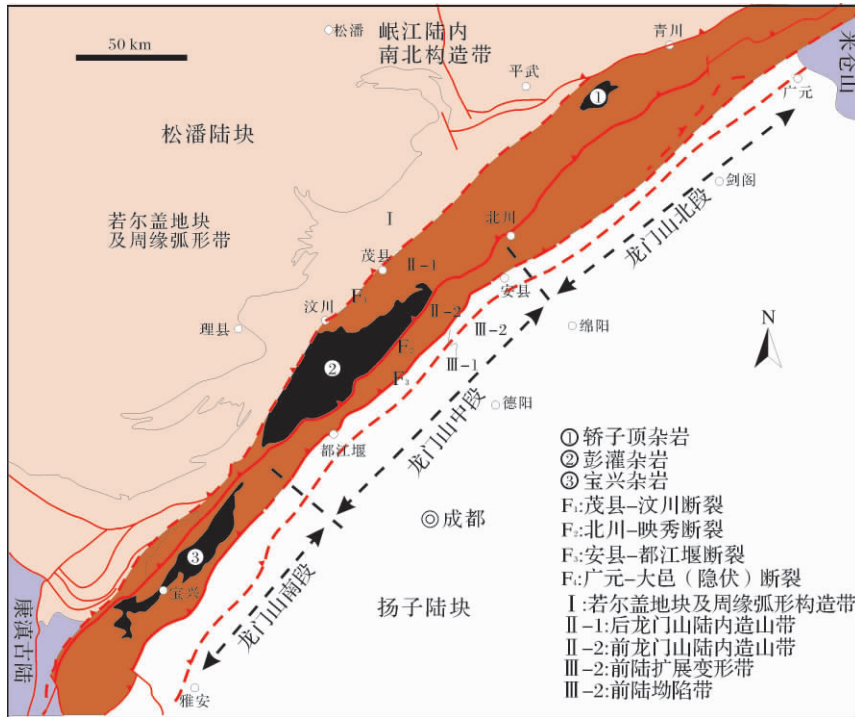


图1 龙门山造山带分段一分带性构造格局^[1]

Fig. 1 Structural zonation and segmentation along the Longmenshan orogen

此通过对沉积盆地沉积物特征和充填情况的研究可以较好重建构造活动史。

本文以层序地层学和沉积学理论为指导,将川西地区晚三叠世野外剖面详查与前人工作资料相结合,通过对川西地区晚三叠世地层的层序充填结构、物质组成和沉积环境等方面进行研究,从而解决晚三叠世川西类前陆盆地由海相盆地转变为陆相湖盆的关键时期和转变过程,进而较好的认识龙门山造山带与川西地区的盆山耦合关系。

1 地质背景

四川盆地位于扬子地台西北侧,为上扬子地台的重要组成部分。盆地沉积物二分特征明显,震旦纪至中三叠世盆地以沉积巨厚层的海相碳酸盐岩为特征,晚三叠世始,由于印支运动的影响,海水自东而西从盆地逐渐退去,盆地进而转变为陆相沉积。本文研究对象川西地区主体位于四川盆地西部地区(图1),平行于龙门山造山带展布,现有的研究成果发现川西地区晚三叠纪地层具有临近龙门山造山带一侧沉积厚度较大,往盆地内部(自西而东),沉积厚度逐渐降低的特征,表现为箕状沉积的特点^[6,10,11]。

晚三叠世川西地区沉积环境变换较大,导致了不

同区域岩石学特征的差异,给研究带来多解性和复杂性,导致了不同学者对晚三叠世地层划分方案的差异^[12~15]。本文在综合考究前人工作成果的基础上,结合本次研究情况,认为川西地区晚三叠世地层,自下而上分别是马鞍塘组、小塘子组和须家河组;马鞍塘组仍为一套碳酸盐岩沉积,并且在绵竹地区野外露头见有较好的鲕粒滩沉积,小塘子组和须家河组则以发育砂岩、泥岩为特征,其中须家河组在本区发育4段(须2段~须5段)。具体划分方案如表1。

2 层序充填结构与造山带隆升关系

针对川西地区晚三叠世独特的构造背景及其影响下沉积环境、盆地演化的独特性,本文采用构造层序(Tectonic sequence)及其体系域为研究单元,进行本文的进一步研究。构造层序是指在一定的构造作用背景下形成的地层,以不整合或与之相对应的整合为界,指示沉积盆地类型的一个构造演化阶段^[16]。通过野外对相关剖面研究,结合前人的研究工作^[17~19],川西地区晚三叠世可以识别出3个构造层序,分别为第一构造层序(TS1),第二构造层序(TS2)和第三构造层序(TS3)(表1),每个构造层序进一步划分为盆地扩张体系域(BE)和盆地收缩体系域

(BW)。

表1 川西地区上三叠统地层及构造层序划分

Table 1 Strata and tectonic sequence stratigraphic division of Upper Triassic in western Sichuan region

地层系统			地质年龄 /Ma	层序地层		构造运动	
系	统	组		体系域	构造层序		
侏罗系	下统	自流井组	208			印支运动 II	
		须家河组					
三叠系	上统	须五段	209	须五中	TS3	安县运动	
		须四段					
		须三段		须二顶	TS2		
		须二段					
叠系	中统	小塘子组	223	小塘子下部	TS1	印支运动 I	
		马鞍塘组					
		雷口坡组					

2.1 层序 TS1 充填特征

TS1 对应的岩石地层为小塘子组和马鞍塘组(表1),层序底界面为上三叠统马鞍塘组和中三叠统雷口坡组间的不整合面。

2.1.1 TS1BE 期

对应的岩石地层单元主要为马鞍塘组。此时川西地区仍然以沉积碳酸盐岩为特征,如在绵竹汉旺剖面马鞍塘组发现为鲕粒灰岩、泥晶灰岩沉积;什邡、安县一带该套地层发育有海绵礁^[20-22],见有大量海绵、珊瑚等海相化石。综合研究表明 TS1BE 马鞍塘期,川西地区沉积物特征总体仍为海相地层沉积^[6],印支运动早幕尚未对川西地区形成较大的影响,同时也反馈出本期位于研究区西部的龙门山造山带可能尚未隆升露出水面。

2.1.2 TS1BW 期

对应的岩石地层单元主要为小塘子组。本期川西地区已经有大量的陆源碎屑物质沉积,说明印支早幕对川西地区的影响开始体现,但是川西各个地区的反应不一。如图2A所示,北部地区4口钻井以沉积中粒砂岩和泥岩为特征,且自西而东沉积厚度由鱼1井200余米骤降至角45井的20余米,层序充填结构中表现为向东开口的箕状沉积体,并且古地理环境分析得出北部区域自西而东为三角洲沉积至海湾沉积环境,综合上述因素可以认为本期龙门山造山带北段已经开始构造隆升出水且为川西地区北部区域提

供沉积物质。反观川西地区中部和南部区域,如图2B、C所示,层序充填结构特征表现为向西开口的箕状沉积,沉积环境则由西而东由海湾沉积转化为三角洲沉积,表现出本期川西地区中部和南部区域的物质来源与北部区域明显不同,可能是来自于川中古隆起。TS1BW 期,川西地区三个区域的层序充填结构和古地理发育的差异性说明(图1),四川盆地西部的龙门山造山带受前期印支构造运动早幕的影响,已经发生了隆升,但是隆升具有差异性,具体而言就是龙门山造山带北段(对应川西地区北部区域)可能已经隆升出水,而龙门山造山带中段和南段隆升则不明显或者仍然未隆升出水,其陆源碎屑物来源可能来自于川中古隆起。

2.2 层序 TS2 充填特征

TS2 对应的岩石地层为须家河组二段和须家河组三段,其最大海泛面位于须二段顶。

2.2.1 TS2BE 期

卡尼克期末形成的汶川—茂汶正断层发生构造发转,转变为自北西往南东逆冲的逆断层,从而导致龙门山造山带再次进入构造活跃期^[13]。川西地区北部区域,如图3A所示,由于本期的构造运动导致龙门山造山带北段剥蚀作用剧烈,山前的剑阁地区(鱼1井)和梓潼地区(黎雅1井)都发育有砾岩沉积,且盆地内部如关基井—充深2井都以沉积中粒砂岩为特征,且由于剥蚀作用剧烈,搬运距离较远,该区域砂岩主要为岩屑石英砂岩为主^[23,24],总体特征表征为砂岩成熟度不高,为近源搬运剥蚀产物。这从 Dickinson 三角投点图可以较好的验证^[23],北部区域在 QpLvLs 投点图上大量的砂岩投点落在“褶皱—逆掩带”之上,同时其在 QmFLt 投点图上则投点于石英再旋回之上,都较好的验证了上述结论,从而也说明 TS2BE 期龙门山北段活动剧烈,对川西地区北部区域提供了大量分选较差的陆源碎屑物。

川西地区南部区域砂岩岩石类型较为复杂,发育有长石石英砂岩、岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩,长石砂岩、岩屑砂岩及石英砂岩含量少,同样表现为成分成熟度较低;同时从各个钻井剖面来看砂体的厚度都较大,主要以中粒砂岩为特征,仅平落2井和威远曹家坝剖面以细粒砂岩为特征(图3C),这表明研究区南部区域在 TS2BE 期沉积物可能主要来源于盆地东部区域,而毗邻的龙门山造山带南段可能仍然尚未隆升出水且提供碎屑物质。同时根据前人研究可以得知^[23],在 Dickinson 三角投点图表中,南段砂岩在

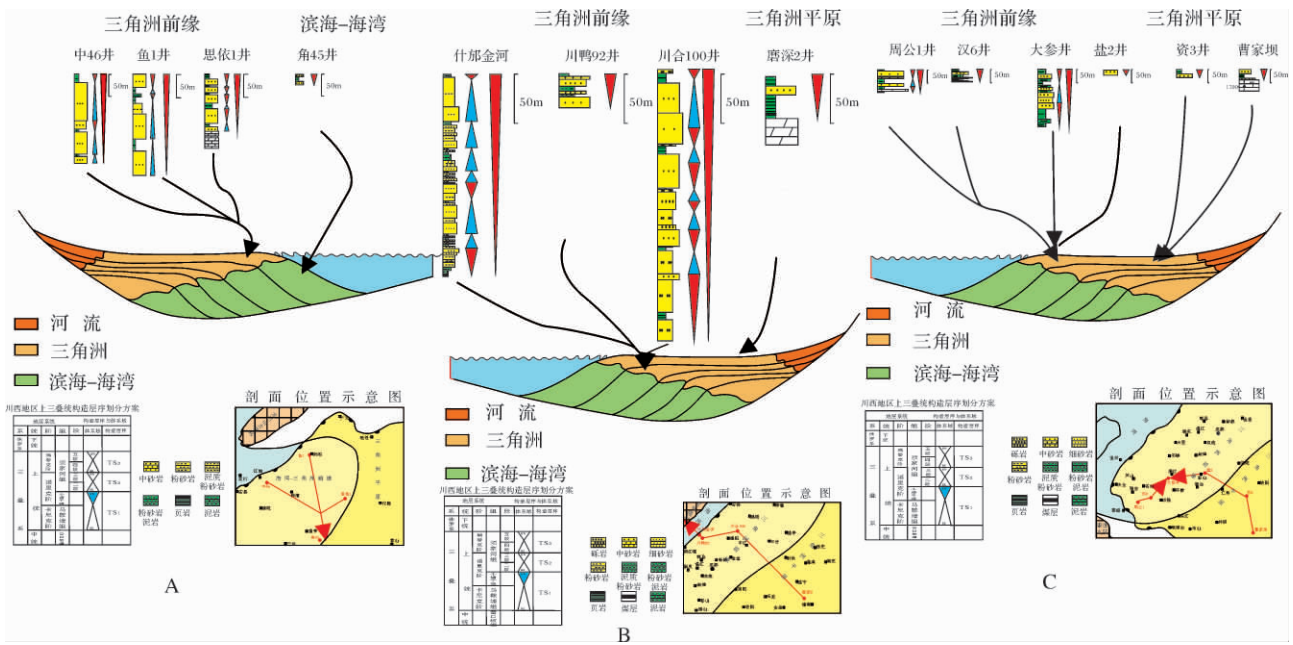


图 2 川西地区须家河组 TS1 盆缩期沉积—层序结构图

Fig. 2 TS1BW Tectonic sequence filling characteristic of Xujiahe Formation in the western Sichuan region

QpLvLs 投点图上表现为部分砂岩投点落于“褶皱—逆掩带”之上,而大部分点不在此区域,而在 QmFLt 投点图则表现为克拉通内部及过渡大陆区,少部分砂岩落于基底隆起,由此可以较好佐证川西地区南段的物源应主要还是来自东部的川中古隆起,而盆地西部的龙门山造山带此时在南段地区尚未真正露出水面。

川西地区中部区域,主要发育岩屑石英砂岩和岩屑砂岩,少量的长石石英砂岩、石英砂岩、长石岩屑砂岩等,岩石学特征表现为介于川西地区南部区域和北部区域之间^[23-24]。如图 3B 所示 6 口钻井,由西而

东,砂岩粒度由细粒为主转为中粒为主;同时在 Dickinson 三角投点图上可以看出本期研究区中段 QpLvLs 投点图和 QmFLt 投点图上表现为介于北段和南段之间的这一特点,表明本期该区域沉积物来源具备有双向物源的特点——龙门山造山带北段和川中古隆起区,同时也说明龙门山造山带中段该期仍为水下隆起。

2.2.2 TS2BW 期

川西地区沉积环境基本上继承了 TS2BE 期特征,但水体范围进一步加大。从岩石类型来看,川西地区北部区域此时主要以岩屑砂岩为主,少量的岩屑

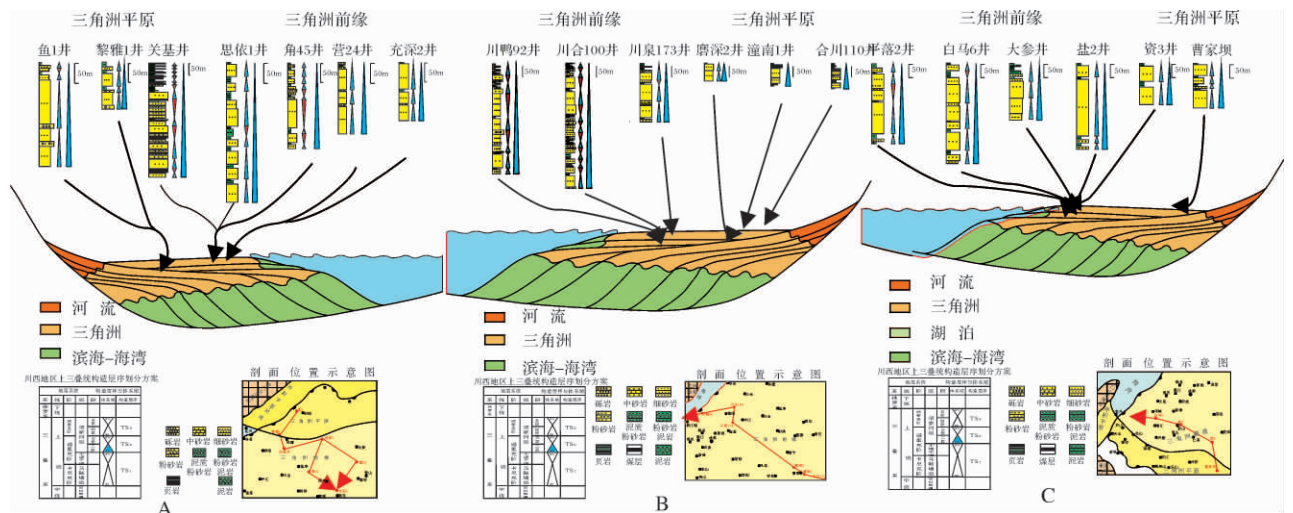


图 3 川西地区须家河组 TS2 盆扩期沉积—层序结构图

Fig. 3 TS2BE Tectonic sequence filling characteristic of Xujiahe Formation in the western Sichuan region

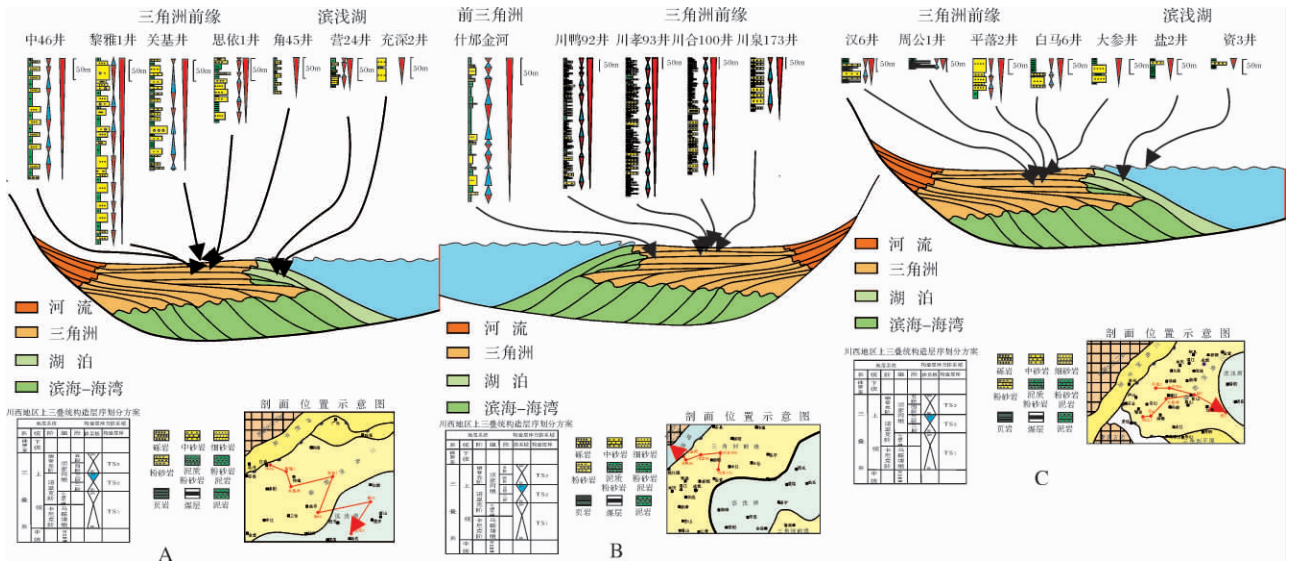


图 4 川西地区须家河组 TS2 盆缩期沉积一层序结构图

Fig. 4 TS1BW Tectonic sequence filling characteristic of Xujiache Formation in the western Sichuan region

石英砂岩;中部区域主要为岩屑石英砂岩、岩屑砂岩和少量石英砂岩;南部区域主要沉积岩屑砂岩,少量岩屑石英砂岩和长石石英砂岩;通过与 TS2BE 对比可以看出,川西地区南部和北部砂岩组分特征发生了明显的变化,沉积有大量的岩屑砂岩,中部则变化特征不明显。同时,川西地区南部和北部岩石粒度相较于 TS2BE 期同样发生变化,砾石级别的砂岩几不可见,主要以细—粉砂岩为主。岩屑砂岩的大量出现,说明了此时龙门山造山带不仅仅北段继续隆升(图 4A),并且龙门山造山带南段也已经隆升出水(图 4C),这从前人的研究成果得到了很好的论证^[23]。而川西地区中部区域则仍然处于二者中间过渡带的地位,表现出具有多物源的特点,同时根据野外对什邡金河剖面的实测,认为其仍发育于海湾环境(图 4B)。由此本文认为,TS2BW 期,川西地区表现出如图 4 所示的沉积格局,南部区域表现为与 TS2BE 期截然相反的沉积格局,沉积物来源于西部隆升的龙门山系;川西地区北部区域继承发展了 TS2BE 期的沉积格局,但此时期,其西部山系隆升加速,造成大量沉积物快速堆积,沉积以岩屑砂岩为特点;川西地区中部区域虽然有所变化,但其对应的龙门山造山带中段尚未隆升出水,没有直接提供碎屑物质,其沉积物来源应是来源于三方面,即龙门山造山带北段,南段和东部克拉通地台,总体仍表现为东高西低。

2.3 层序 TS3 充填特征

TS3 对应的岩石地层为须家河组 4 段和须家河

组 5 段,以须四段底部安县运动构造不整合面为底界面,以印支运动构造不整合面为顶界面。

2.3.1 TS3BE 期

受安县运动的影响,川西地区的沉积格局再次发生变化^[6,23]。此时川西地区北部发育有大范围分布的冲积扇沉积,如图 5A 所示,鱼 1 井沉积巨厚的砾岩,其岩石类型较上一时期未发生明显变化,主要沉积岩屑砂岩,另有少量的岩屑石英砂岩;川西地区南部砂岩成熟度不高,除沉积有大量的岩屑砂岩,岩屑石英砂岩,岩屑长石砂岩外,尚有少量的长石石英砂岩和长石岩屑砂岩,其砂岩粒度较之 TS2BW 期要粗;川西地区中部砂岩组分几无变化,仍然以岩屑砂岩为主,含有少量的岩屑石英砂岩,但是砂岩粒度变粗。从图 5 中可以看出,此时川西地区整体表现为自西而东的沉积箕状体,从沉积层序剖面结构来看,具有自西而东水体逐渐变浅的特征,由此可以推断,TS3BE 期,研究区西部的龙门山造山带由于安县构造运动的影响,已然全区隆升出水,中部的海湾已经闭合,川西前陆盆地成型。同时从 Dickinson 三角投点图上来看,研究区各区域的特征基本相似,如在 QmFL 投点图上,三者大部分砂岩点落于再旋回造山带上^[23]。因此本文认为,由于前期的构造隆升和本期安县构造运动的叠加影响,龙门山造山带各段于本期全面隆升出水,且构造活动强度可能具有自北段逐渐向南段减弱的特点。

2.3.2 TS3BW 期

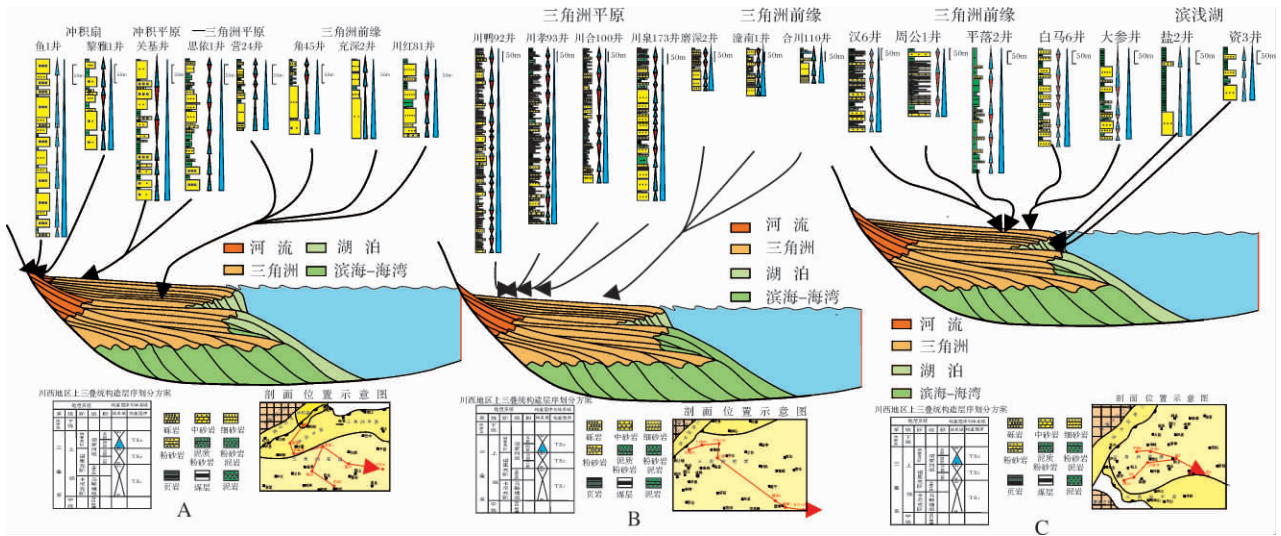


图 5 川西地区须家河组 TS3 盆扩期沉积—层序结构图

Fig. 5 TS3BE Tectonic sequence filling characteristic of Xujiahe Formation in the western Sichuan region

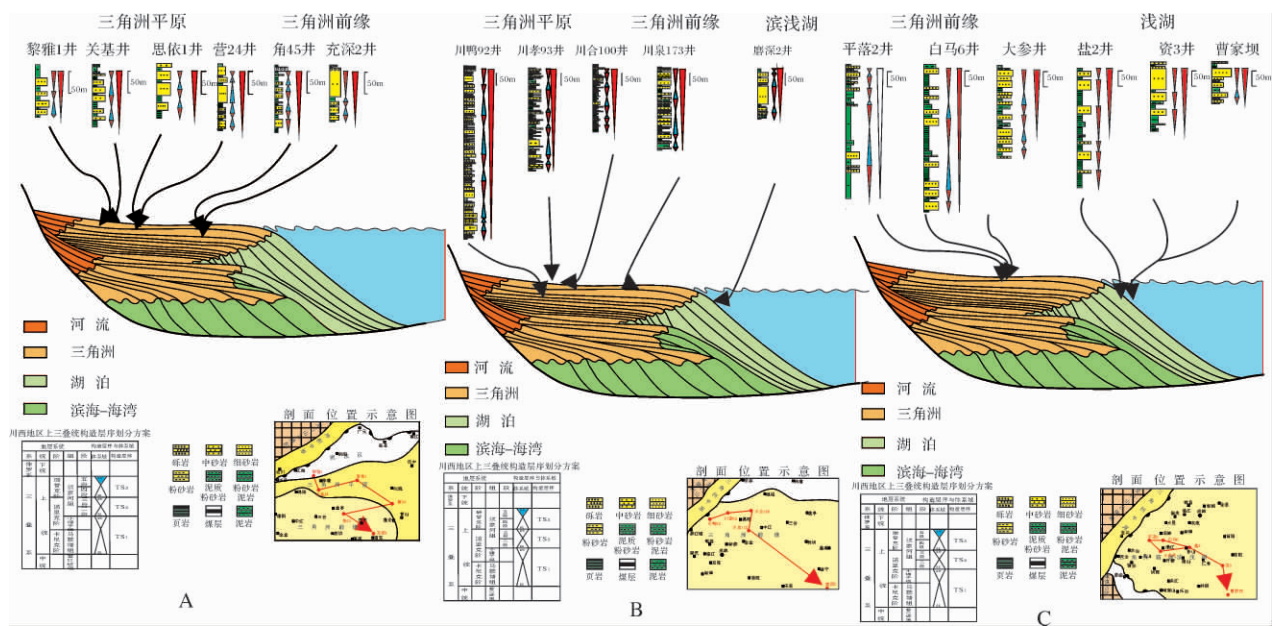


图 6 川西地区须家河组 TS3 盆缩期沉积—层序结构图

Fig. 6 TS3BW tectonic sequence filling characteristic of Xujiahe Formation in the western Sichuan region

由于安县运动和印支运动晚幕的叠加影响, 龙门山造山带北—中段剧烈抬升, 导致川西地区龙门山一侧遭受不同程度的剥蚀 (图 6)。同时从沉积环境来看, 川西地区北部此时为三角洲沉积, 沉积粉砂岩、泥岩和页岩 (图 6A); 川西地区中部区域同样表现为三角洲沉积, 但是其沉积厚度要大于北部区域, 说明本期川西地区中部为区域沉积中心 (图 6B); 川西地区南部则沉积有大套的泥岩、页岩, 表现出其作为本期最深水沉积环境, 浅湖相发育于本区 (图 6C)。从沉

积结构来看 (图 6) 研究区各区域均表现为龙门山前层序发育最全且沉积厚度最大, 总体表现出由西而东箕状沉积的特点, 同时结合沉积物粒度和前人分析成果, 可以了解本期研究区西部龙门山造山带为本区的主要物源区, 因而导致三段的岩石学特征基本类似, 以沉积岩屑砂岩为主^[23-24]。

3 结论

(1) 川西地区上三叠统地层发育较全, 自下而上

为马鞍塘组,小塘子组和须家河组,须家河组发育4段:须二段—须五段。

(2) 识别划分出3个构造层序,其中马鞍塘组和小塘子组构成TS1,须家河组须二段至须三段构成TS2,须家河组须四段至须五段构成TS3;每个构造层序分为盆地扩张体系域(BE)和盆地收缩体系域(BW)。

(3) TS1BE 马鞍塘期,川西地区仍然以海相地层发育为特征,表明此时西部的龙门山造山带尚未有发生明显的隆升作用,龙门山造山带各段隆升差异不明显;TS1BW 小塘子期,龙门山造山带北段已经开始构造隆升,成为川西北部地区沉积物主要来源区,开始了川西地区由碳酸盐沉积向陆源碎屑沉积的转变。

(4) TS2BE 期,汶川—茂汶正断层发生构造反转,龙门山造山带北段在前期隆升的基础之上,再次经历了较为强烈的造山运动,发育形成快速充填的层序结构,与川西地区其他地区表现出明显的差异性。TS2BW 期,川西地区进入了构造相对缓和期,但南段已然开始隆升出水,为川西南部区域提供沉积物质。TS2BW 末期,安县构造运动形成的区域不整合面,龙门山造山带中段显著隆升,成为新的物源区,川西地区海水完全退出,四川盆地由海相盆地转变为陆相盆地。

(5) TS3 期,龙门山造山带整体隆升并向川西盆地提供物源,川西地区开始进入前陆盆地的陆相沉积演化阶段,主体发育河流—三角洲—湖盆沉积环境。

(6) 龙门山造山带各段的隆升顺序:北段(TS1BW)→北段、南段(TS2BW)→全面隆升(TS2BW 顶,TS3BE 底)。对应的砾岩发育情况:TS2BE 期,川西北部发育砾岩沉积;TS3BE 期,砾岩体主要发育于川西地区北部和中部区域。

参考文献(References)

- 李智武,刘树根,陈洪德,等. 龙门山冲断带分段—分带性构造格局及其差异变形特征[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 2008, 35(4): 440-454 [Li Zhiwu, Liu Shugen, Chen Hongde, et al. Structural segmentation and zonation and differential deformation across and along the Longmen thrust belt, West Sichuan, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2008, 35(4): 440-454]
- 林茂炳,苟宗海,吴山,等. 龙门山地质考察指南[M]. 成都:成都科技大学出版社, 1997: 1-204 [Lin Maobing, Gou Zonghai, Wu Shan, et al. A Guide to Longmenshan Geological Survey [M]. Chengdu: Press of Chengdu University of Science and Technology, 1997: 1-204]
- 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): 315-325 [Luo Zhili. A preliminary approach on C-subduction and its hydrocarbon prospecting [J]. Oil & Gas Geology, 1984, 5(4): 315-325]
- 刘树根,罗志立,曹树恒. 一种新的陆内俯冲类型—龙门山型俯冲成因机制研究[J]. 石油实验地质, 1991, 13(4): 314-324 [Liu Shugen, Luo Zhili, Cao Shuheng. On the mechanism of a new type of Intercontinental Subduction—the Longmenshan Subduction [J]. Petroleum Geology & Experiment, 1991, 13(4): 314-324]
- 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, 56 [Liu Shugen, Luo Zhili, Zhao Xikui, et al. Discussion on essential characteristics of intracontinental-subduction type foreland basins in western China [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(1): 37-48, 56]
- 郑荣才,朱如凯,翟文亮,等. 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[J]. 中国地质, 2008, 35(2): 246-255 [Zheng Rongcai, Zhu Rukai, Zhai Wenliang, et al. Tectonic evolution and sequence filling patterns in the western Sichuan foreland-like basin in the Upper Triassic Xujiahean period [J]. Geology in China, 2008, 35(2): 246-255]
- 邓康龄. 四川盆地形成演化与油气勘探领域[J]. 天然气工业, 1992, 12(5): 7-12 [Deng Kangling. Formation and evolution of Sichuan Basin and domains for oil and gas exploration [J]. Natural Gas Industry, 1992, 12(5): 7-12]
- 曾允孚,李勇. 龙门山前陆盆地形成与演化[J]. 矿物岩石, 1995: 40-49 [Zeng Yunfu, Li Yong. The formation and evolution of Longmen Mountains Foreland Basin [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1995: 40-49]
- 许效松,刘宝珺,徐强,等. 中国西部大型盆地分析及地球动力学[M]. 北京:地质出版社, 1997: 1-168 [Xu Xiaosong, Liu Baojun, Xu Qiang, et al. Analyses of Large Scale Basins in West China and Their Geodynamic Characteristics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 1-168]
- 李勇,曾允孚. 龙门山前陆盆地充填序列[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 1994, 21(3): 46-55 [Li Yong, Zeng Yunfu. Fill sequence of Longmen mountains foreland Basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 1994, 21(3): 46-55]
- 李勇,曾允孚,伊海生. 龙门山前陆盆地沉积及构造演化[M]. 成都:科技出版社, 1995: 1-92 [Li Yong, Zeng Yunfu, Yi Haisheng. Sedimentary and Tectonic Evolution of the Longmenshan Foreland Basin, western Sichuan, China [M]. Chengdu: Press of Chengdu University of Science and Technology, 1995: 1-92]
- 何鲤,段勇,罗潇,等. 川西坳陷上三叠统层序地层划分新方案[J]. 天然气工业, 2007, 27(2): 6-11 [He Li, Duan Yong, Luo Xiaoyao, et al. New scheme of sequence stratigraphic division for Upper Triassic in Western Sichuan Depression [J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(2): 6-11]
- 刘树根,童崇光,罗志立,等. 川西晚三叠世前陆盆地的形成与演化[J]. 天然气工业, 1995, 15(2): 11-15 [Liu Shugen, Tong Chongguang, Luo Zhili, et al. The formation and evolution of Late Triassic foreland basin in west Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 1995, 15

- (2): 11-15]
- 14 李绍虎, 吴冲龙, 王华, 等. 四川须家河组层序地层格架与天然气成藏的关系[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(2): 146-151 [Li Shaohu, Wu Chonglong, Wang Hua, *et al.* Relation between sequence stratigraphic framework and gas pool-forming of Xujiahe Formation, Sichuan[J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(2): 146-151]
- 15 苟宗海. 四川龙门山中段上三叠统须家河组特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(1): 3-101 [Gou Zonghai. The Upper Triassic Xujiahe Formation in the Longmen Mountain area, Sichuan[J]. Sedimentary Geology and Tethys Geology, 2001, 21(1): 3-101]
- 16 汪泽成, 赵文智, 张林, 等. 四川盆地构造层序与天然气勘探[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 1-287 [Wang Zechang, Zhao Wenzhi, Zhang Lin, *et al.* Tectonic Stratigraphy and Natural Gas Exploration in Sichuan Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 1-287]
- 17 林良彪, 陈洪德, 胡晓强, 等. 四川盆地上三叠统构造层序划分及盆地演化[J]. 地层学杂志, 2007, 31(4): 415-422 [Lin Liangbiao, Chen Hongde, Hu Xiaoqiang, *et al.* Classification of tectonic sequence and basin evolution of the Upper Triassic in the Sichuan Basin [J]. Journal of Stratigraphy, 2007, 31(4): 415-422]
- 18 张贵生, 何鲤. 川西坳陷上三叠统层序地层对比研究[J]. 天然气工业, 2005, 25(10): 21-23 [Zhang Guisheng, He Li. Correlation research on the sequence strata of Upper Triassic series in West Sichuan Depression[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(10): 21-23]
- 19 邹光富, 夏彤, 楼雄英. 四川广元地区上三叠统小塘子组、须家河组层序地研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(3): 74-80 [Zou Guangfu, Xia Tong, Lou Xiongying. Sequence stratigraphy of the Late Triassic strata in the Guangyuan region, Sichuan [J]. Sedimentary Geology and Tethys Geology, 2003, 23(3): 74-80]
- 20 吴熙纯. 川西北晚三叠世的灯海绵动物群[J]. 古生物学报, 1990, 29(3): 349-363 [Wu Xichun. Late Triassic Lychniscosa Fauna in northwestern Sichuan [J]. Acta Paleontologica Sinica, 1990, 29(3): 349-363]
- 21 吴熙纯, 肖荣吾. 四川西北部晚三叠世海绵动物群的发现[J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 1989, 14(1): 12-21 [Wu Xichun, Xiao Rongwu. Discovery of Late Triassic sponge fauna in northwestern Sichuan [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology, 1989, 14(1): 12-21]
- 22 杨荣军, 刘树根, 吴熙纯, 等. 川西上三叠统海绵生物礁的分布及其控制因素[J]. 地球学报, 2009, 30(2): 227-234 [Yang Rongjun, Liu Shugen, Wu Xichun, *et al.* Distribution and controlling factors of siliceous sponge reefs in Western Sichuan Province [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2009, 30(2): 227-234]
- 23 林良彪, 陈洪德, 翟常博, 等. 四川盆地西部须家河组砂岩组分及其古地理探讨[J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 511-517 [Lin Liangbiao, Chen Hongde, Zhai Changbo, *et al.* Sandstone compositions and paleogeographic evolution of the upper Triassic Xujiahe Formation in the western Sichuan Basin, China [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2006, 28(6): 511-517]
- 24 林良彪, 陈洪德, 侯明才. 须家河组砂岩组分特征与龙门山推覆体的形成演化[J]. 天然气工业, 2007, 27(4): 4-6, 28-30 [Lin Liangbiao, Chen Hongde, Hou Mingcai. Characteristics of sandstone composition of Xujiahe Formation and evolution of Longmenshan thrust nappe [J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(4): 4-6, 28-30]

Segmental Uplift of Longmenshan Orogen and Sequence Filling Characteristic of Western Sichuan Foreland-like Basin, Later Triassic

CHEN Hong-de^{1 2} XU Sheng-lin^{1 2} LIN Liang-biao^{1 2}
HOU Ming-cai^{1 2} CHEN An-qing³

(1. State Key Lab of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation (Chengdu University of Technology), Chengdu 610059;

2. Institute of Sedimentary Geology; Chengdu University of Technology, Chengdu 610059;

3. Department of Ocean Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058)

Abstract In order to knowing the relationship between the uplifting of Longmenshan Orogen and the filling characteristic of western Sichuan foreland-like basin during late Triassic, this article guided by sequence stratigraphy and sedimentology, integrated researched the outcrops, cores, then detailed studied the tectonic sequence filling characteristic in western Sichuan foreland-like Basin, founding when the setting of western Sichuan foreland-like Basin changed form marine to continental, and how was the stage. The main achievements as follow were obtained:

① From late Triassic to Jurassic, the environment of western Sichuan foreland-like basin was difference, at the beginning, the setting was marine, then changed to transition, finally changed to continental environment, and the key stage was Anxian tectonic movement.

② The tectonic movement of Longmenshan orogenic belt was eposide, the movement of each part of Longmenshan orogenic belt was different form late Triassic to Jurassic, and the adjacent areas setting was different too. So the

sedimentary models built up in different place or at the different time was difference.

③During the Ma'antang Stage(TS1BE) , tectonic movement of Longmenshan orogenic belt was weak and entire underwater mixed shelf is the mainly setting of the western Sichuan foreland basin and sponge reefs found in the Anxian district. During the Xiaotangzi Stage(TS1BW) , the north part of Longmenshan orogenic belt uplifted firstly and marine delta found in the corresponding place of western Sichuan foreland basin.

During the stage of TS2BE , tectonic movement of the north part of Longmenshan orogenic belt rivived , which led sedimentary structures with rapid filling characters forming in the north-west part of western Sichuan foreland-like basin , and tectonic movement of the middle part and the south part of Longmenshan orogenic belt remainly quiet. In this situation , from west to east , marine delta to coastal-shallow sea setting formed in the north-west Sichuan foreland-like basin and coastal-shallow sea to marine delta setting formed in the other place. During the stage of TS2BW , the south part of Longmenshan orogenic belt uplifted , too. The fragmentary material stripped from the south part and the north part of Longmenshan orogenic belt were transported into the western Sichuan foreland-like basin. During this time , tectonic movement of the middle part of Longmenshan orogenic belt was not obvious , the environment of western Sichuan foreland-like basin remain transition.

When the time come to the end of TS2BW and the begin of TS3BE , the middle part of Longmenshan orogenic belt uplifted , and the sea water dismiss from the western Sichuan foreland-like basin. After that , fluvial delta and lake were the mainly setting of western Sichuan foreland-like basin.

Key words sequence filling; western Sichuan foreland-like basin; Longmenshan Orogen; segmental uplift; late Triassic