

川西前陆盆地中—新生代沉积迁移与构造转换

陈竹新¹ 贾 东² 魏国齐¹ 李本亮¹ 雷永良¹

(1. 中国石油勘探开发研究院, 中国石油天然气股份有限公司盆地构造与油气成藏重点实验室, 北京 100083;
2. 南京大学地球科学系, 江苏 南京 210093)

提要:川西前陆盆地中—新生代各构造层的残余厚度展布和沉积特征分析发现,四川克拉通周缘的前陆盆地在晚三叠世时期发育于龙门山山前,明显属于龙门山褶皱逆冲构造载荷所形成的前渊凹陷;侏罗纪早期的沉积地层呈面状分布,没有表现出显著的挠曲沉降,指示了一个构造相对平静的阶段;中侏罗世早期前渊凹陷迁移至龙门山北段和米仓山山前,前渊沉积从晚三叠世的北东向转换为近东西向,广泛的湖泊相沉积预示了前陆盆地的欠充填状态;中侏罗世中晚期,川西盆地沉降中心又迁移到大巴山山前,相应的挠曲变形又从近东西向转化为北西向,构成了大巴山的前渊凹陷;晚侏罗世—早白垩世时期,沉降中心再次回到米仓山山前,巨厚的前渊凹陷沉积指示了米仓山冲断带的主要活动时期;白垩纪末—古近纪的前渊凹陷则跃迁至雅安—名山地区。川西前陆盆地的同造山沉降中心以四川盆地中心为核心在西部和北部呈弧形迁移,沉积序列不断更替和叠加。中生界各构造层底界构造图显示现今的构造低部位位于川西北地区 and 川西南地区,在川西北地区均有东西走向的等值线分布,而川西南地区等值线走向则为北东—南西向。因此分析认为,晚侏罗世至早白垩世的构造变形可能控制了川西盆地现今的地层变形,形成了川西北地区的南北向构造挤压结构,而晚期的新生代构造变形则主要体现在川西盆地的西南部,形成北东—南西向的地层展布特征。

关键词:川西前陆盆地;中—新生代构造层;沉积迁移;构造转换

中图分类号:P542+.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2008)03-0472-10

前陆盆地作为一种构造活动性盆地,特点是冲断带的构造活动,并控制了其前缘盆地的形成及其沉积充填过程。盆地周缘不同序次的冲断构造变形控制了不同序次层序地层的形成和演化,使盆地在不同时期形成了不同的古地貌格局^[1-4]。一期构造活动开始到结束过程中所控制沉积的一大套有成因联系的地层称为构造层序,其顶底为构造抬升形成的侵蚀面,或盆地基底停止沉降产生的沉积间断面。而不整合则是鉴定构造运动和构造变形的依据,它代表构造事件,是划分构造层的分界面。通过构造活动性盆地内的构造层序充填和展布分析,可以探讨不同时期和不同构造事件的构造变形强弱,间接反映构造运动的轨迹。

川西盆地周缘被多条褶皱逆冲带围限,包括西侧的龙门山、北侧的米仓山及东北侧的大巴山、川东褶皱带以及川南的复杂冲断构造带,是挤压构造背

景下形成的构造活动性盆地^[5-8],盆地内沉积了厚达万米的中—新生代陆源沉积物。上三叠统在四川盆地近源区厚度达数千米,且向远处递减,这就是典型的挠曲沉降,是由于同期龙门山构造带的构造负载而引起的^[9-11]。晚中生代以来,川西盆地一直被认为是典型前陆盆地的持续发育阶段。然而在侏罗纪和白垩纪期间,龙门山并没有发育强烈的逆冲推覆构造,而川西北盆地的近源区堆积了超过 5 km 厚的冲积物、河流三角洲堆积物以及湖泊堆积物^[12-16]。这说明,中—新生代以来,川西前陆盆地的沉降可能与盆地不同边缘的造山带构造变形相耦合。而且目前四川盆地周缘的褶皱冲断的构造变形时间,尤其是相邻冲断带的构造叠加过程比较复杂,两两之间的关系并不十分清晰。笔者借助钻井分层资料,通过对川西前陆盆地中—新生界的构造层序的展布分析,从盆地充填的角度来探讨川西前陆盆地的周缘冲断带的

收稿日期:2007-11-02; 改回日期:2008-01-03

基金项目:国家自然科学基金项目(40672132,40702035)和中国博士后科学基金项目(20070410612)共同资助。

作者简介:陈竹新,男,1979年生,博士,主要从事构造地质与盆地构造分析的研究;E-mail:chenzhuxin@gmail.com。

构造活动序次,分析周缘冲断带的相互叠加和改造过程,从而为盆地和冲断带的精细构造解析以及油气勘探提供一个新的框架和思路。

1 川西前陆盆地沉积充填和构造层序划分

川西前陆盆地充填地层厚度巨大,由海相—海陆过渡相至陆相沉积物构成。主体为陆相沉积物,表现为由下向上变浅、变粗的沉积充填(图1)^[12,13]。沉积岩层包括上三叠统小塘子组和须家河组;侏罗系白田坝组、千佛岩组、上沙溪庙组、下沙溪庙组、遂宁组、莲花口组;白垩系剑门关组、剑阁组、夹关组、灌口组;古近系名山组、芦山组;新近系大邑砾岩以及第四系。整体上,具有以下沉积特点:(1)呈旋回式沉积,沉积物由粗至细周期性发育;(2)不整合面发育,据此可以划分出不同的构造层;(3)发育多套巨厚砾岩层;(4)整体为冲积扇—河流—湖泊相沉积体系。

1.1 川西地区中—新生界主要不整合界面

根据野外露头剖面、钻井地层岩性资料以及地震资料,可将川西盆地中—新生界划分出4个明显的、规模较大的不整合面:(1)上三叠统底部不整合面。该不整合是四川盆地乃至上扬子克拉通很重要的不整合,区域分布稳定,局部不整合面为雷口坡组与须家河组之间的层序界面;(2)侏罗系底部角度不整合面。该不整合主要分布在龙门山北段和川西北地区。龙门山北段安县—江油—广元一带表现为角度不整合,安县以南地区基本表现为平行不整合和整合接触;(3)上白垩统底部不整合面。该不整合主要分布在川西盆地南段,表现为上白垩统与侏罗系的不连续沉积,大部分地区缺失下白垩统,不整合面常常表现为平行不整合。在盆地北段下白垩统与侏罗系呈整合接触,而缺失上白垩统;(4)古近系顶部不整合面,古近系和新近系在整个北段全部缺失。这些不整合界面主要与四川盆地周缘造山带的形成和变形以及剥蚀相关。

1.2 川西地区中—新生界构造层序

川西前陆盆地在侏罗纪和早白垩世期间,龙门山并没有发育强烈的逆冲推覆构造,但是盆地的近源区堆积了超过5 km厚的冲积物、河流三角洲堆积物以及湖泊堆积物。因此,笔者重点对侏罗纪和白垩纪的川西前陆盆地的构造沉积进行较为细致的划分。以二级不整合面和相转换面作为分割盆地构造

层的基本界面,并根据不整合面的规模和性质,将川西前陆盆地沉积层划分为不同的构造层,即一个成盆期的充填实体,具有特定的沉降中心、垂向充填层序模式和横向沉积体系配置模式。

根据川西前陆盆地及周缘造山带的构造活动情况,结合构造层划分的原则和方法,将川西前陆盆地中—新生界划分为以下多个构造层序,即上三叠统构造层、中下侏罗统构造层、上侏罗统和下白垩统构造层、上白垩统和古近系构造层等。由于新近系和第四系在川西前陆盆地中仅有少量分布,而且局限于川西南地区,明显表现为青藏高原碰撞晚期的远程效应的产物,叠加在早新生代龙门山冲断构造及川西前陆盆地之上。川西前陆盆地在中—新生代不同时期发生构造迁移与转换,反映了盆地周缘冲断带在各阶段的构造活动的次序和强度(图1)。

2 中—新生代构造层序的残余厚度展布

晚三叠世龙门山前渊凹陷:须家河组沉积中心位于龙门山中段的山前地带,地层厚度自北西南东逐渐减薄,典型的前渊凹陷沉积贯穿于整个龙门山构造带的东南侧,从而支持在龙门山南段也可能存在晚三叠世时期的前陆褶皱冲断构造(图2-a)。张箭等^[14]通过对盆地南部和北部两条横向构造沉降曲线形态的对比,表明当时的南部和北部盆地应为一个统一的川西前陆盆地。两条横向构造沉降曲线均显示,龙门山前缘地带的构造沉降量明显地大于盆地内部。当时前陆盆地基底形态为西陡东缓,形成的沉积地层厚度也是西厚东薄。该构造层序在空间上分布于川西前陆盆地的绝大部分地区,在横向上自西而东由辫状河(扇)三角洲相—湖泊(沼泽)沉积体系—小型三角洲沉积体系构成。古流向资料、砂体展布、砂岩岩屑成分和轻重矿物组合分析表明,此时龙门山前陆盆地陆源碎屑主要来自盆地西北边缘,即已褶皱隆起的松潘—甘孜褶皱带(东缘),盆地西部古流向为北西—南东向。

早侏罗世构造相对平静期:虽然下侏罗统在盆地中广泛分布,沉积单元的厚度通常不足400 m,并且厚度变化不大,残余厚度中心位于四川盆地的中部(图2-b)。由川西盆地边缘的包含单成分砾岩,发育交错层理的白田坝组和盆地内部主要发育细粒碎屑岩和灰岩的自流井组构成。在垂向上表现为向上

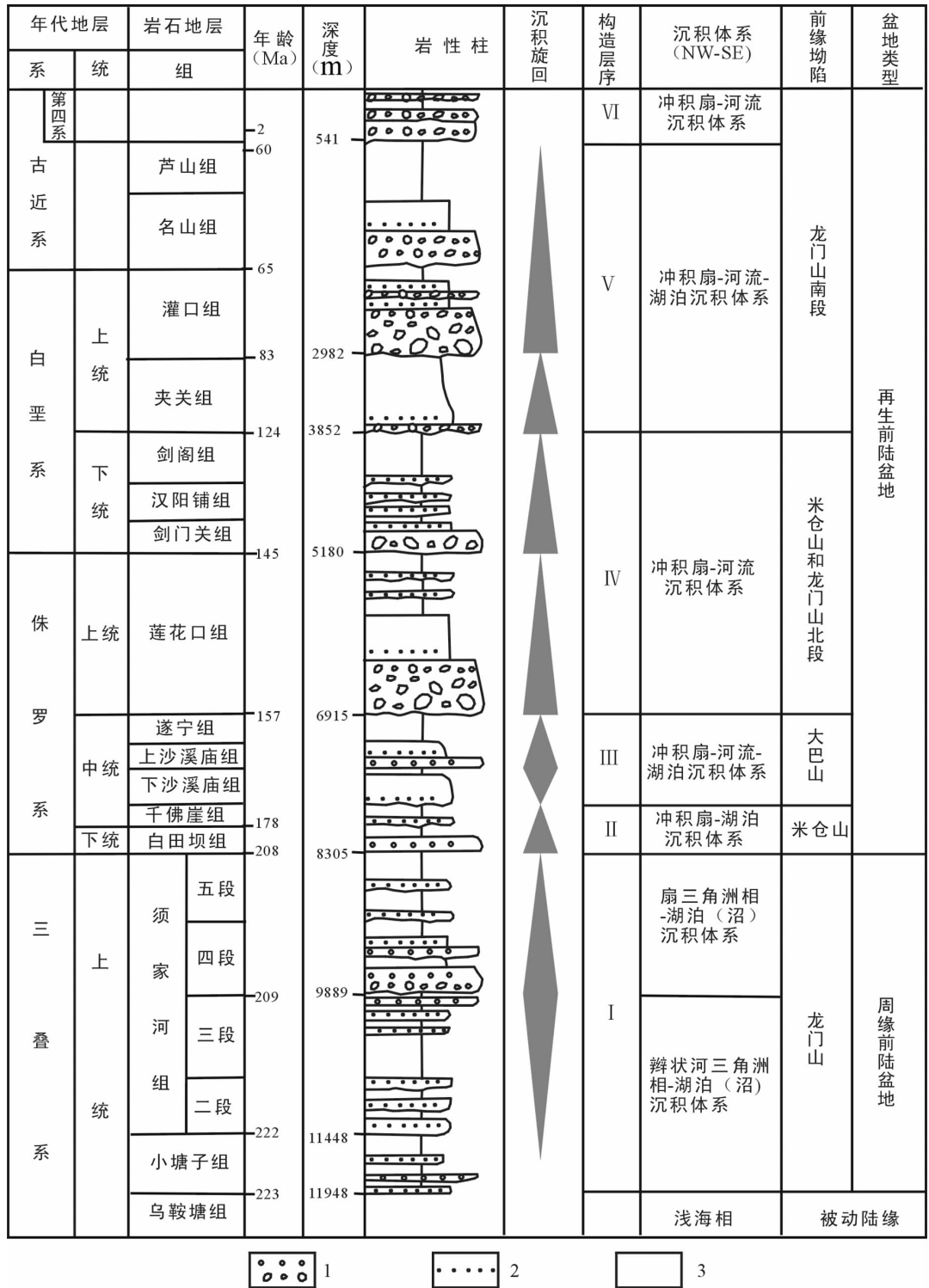


图 1 川西前陆盆地中—新生界构造层序及前渊拗陷迁移(据参考文献[12]修改)

1—砾岩; 2—砂岩; 3—泥岩

Fig.1 Meso-Cenozoic tectonic sequences and foredeep migration of the western Sichuan foreland basin (modified from Li Yong et al. [12])

1—Conglomerate; 2—Sandstone; 3—Mudstone

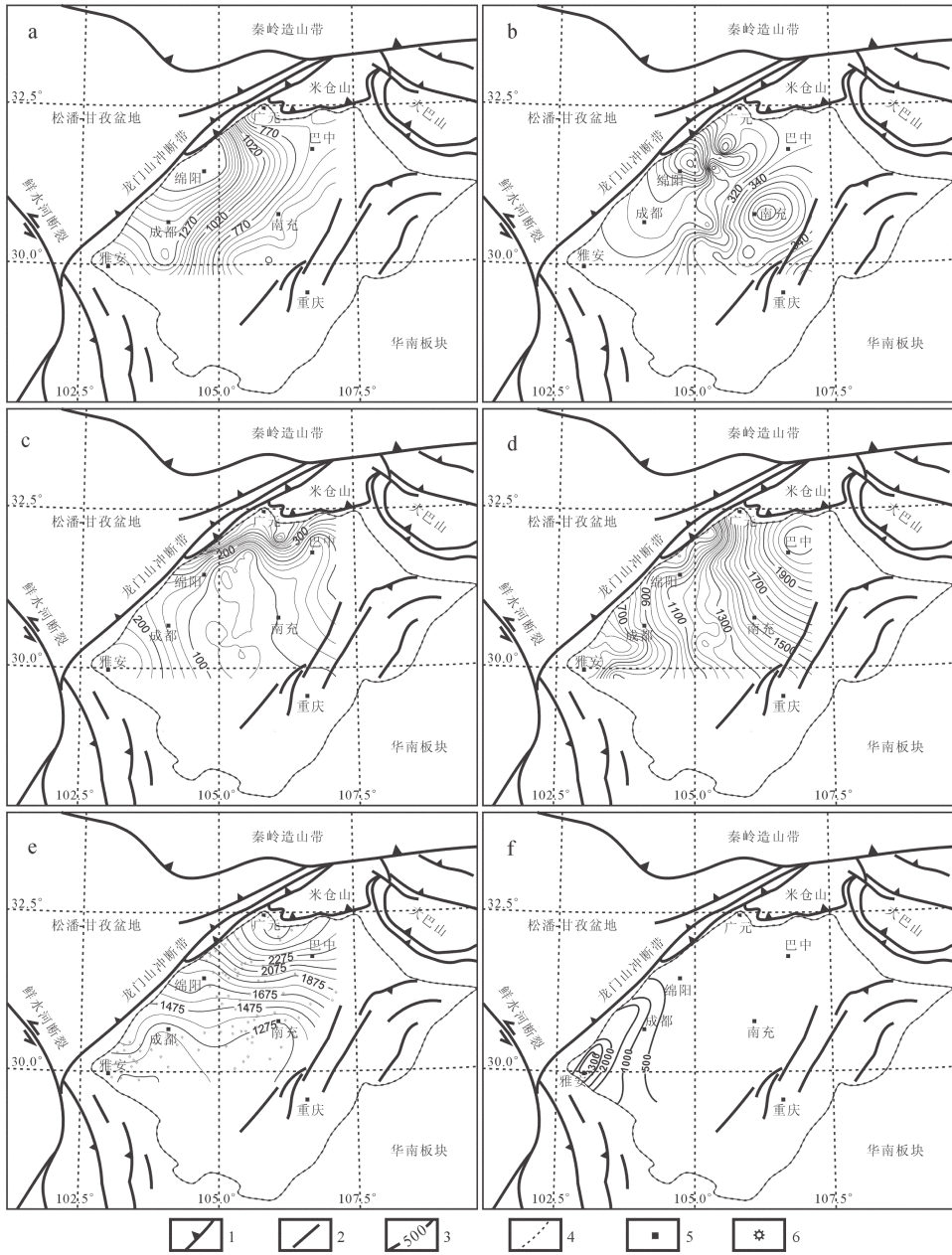


图 2 川西前陆盆地中—新生代构造层序残余岩层等厚线图(单位:m)
 a—上三叠统须家河组;b—下侏罗统(J_1);c—中侏罗统下部千佛岩组(J_2^1);d—中侏罗统中上部沙溪庙组(J_2^2);
 e—上侏罗统—下白垩统(J_3-K_1);f—上白垩统—古近系(K_2-E)^① 1—逆冲断层;2—川东褶皱带;
 3—等厚线;4—四川盆地边界;5—地名;6—钻孔

Fig.2 Isopach map of the remnant Mesozoic-Cenozoic tectonic sequences in the western Sichuan foreland basin (unit:m)

a—Upper Triassic Xujiahe Formation;b—Lower Jurassic (J_1);c—Lower Middle Jurassic (J_2^1) Qianfuyan Formation;
 d—middle-upper Middle Jurassic (J_2^2) Shaximiao Formation;e—Upper Jurassic—Lower Cretaceous(J_3-K_1);
 f—Upper Cretaceous—Paleogene (K_2-E)^① 1—Thrust;2—Eastern Sichuan fold belt;3—Isopach line;
 4—Boundary of the Sichuan basin;5—Geographic name;6—Borehole

变细的退积型层序,由下部的冲积扇沉积体系和上部的湖泊沉积体系组成。下侏罗统广泛分布的砾岩层和相对均匀的厚度意味着造山期后沉积环境或构造静止期^[18]。

中侏罗世早期米仓山前渊凹陷:千佛岩组在垂向上表现为向上变细的退积型层序,由下部的冲积扇沉积体系和上部的湖泊沉积体系构成或仅由湖泊沉积体系构成,厚度仅为数百米(图 2-c)。千佛岩组下部的厚层粗粒砂岩与上部的细粒相砂岩是一个相的转变,从辫状河流系统到湖泊系统的变化,表明了盆地暂时的扩张。千佛岩组的沉积物表明了继早侏罗世构造静止期之后的盆地沉降恢复,沉积中心位于米仓山前渊,沉积等厚线呈东西向展布,厚度可达 400 m 以上。沉积相从辫状河流系统到湖泊系统的变化暗示了米仓山前渊早期前陆盆地的发育过程,形成欠充填的前陆盆地。

中侏罗世中晚期大巴山前渊凹陷:巨厚的中侏罗统沙溪庙组湖泊相沉积,沉积厚度在 3000 m 以上,包括上沙溪庙组和下沙溪庙组。沉积中心明显位于大巴山山前,沉积等厚线呈北西向展布,平行于大巴山褶皱逆冲带,地层具东厚西薄的展布特点,充分说明它是大巴山构造的前渊凹陷(图 2-d)。整体看来,中侏罗世表明龙门山冲断带在该时期的活动较弱,川西盆地表现为一个比较稳定的陆内拗陷沉积。晚侏罗世—早白垩世米仓山前渊凹陷:晚侏罗世和早白垩世盆地经历了一段时间的沉积,在边缘主要为大量的冲积扇沉积,而盆地内部发育河流—湖泊沉积物,但是在这个时间段内,盆地面积明显减少,并且它的沉降中心明显地向北西迁移(图 2-e)。古水流研究指出沉积物从北西、北和北东散开,从而说明了在晚中生代龙门山和米仓山是盆地的主要源区。盆地边缘的冲积扇大概随着时间侧向迁移,以垂向上冲积扇粗粒沉积和扇内环境下的河流沉积互层的岩相序列为依据。同期存在的近源区厚层冲击扇砾岩和盆地内部较薄层河流和湖泊相指示了前陆盆地活动的挠曲沉降的沉积作用^[18]。川西北盆地的沉降和沉降中心的移动可归因于米仓山边界逆冲带向盆地推进所产生的构造载荷形成的,这些边界逆冲带在早白垩世就变得很显著。与此同时,龙门山构造带也经历了构造变形。晚中生代地壳变形和变质作用最近在龙门山地区得到证实,并通过白云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄测定在 120~130 Ma 汶川—茂汶断层

恢复活动^[8]。

白垩纪末—早新生代南龙门山前渊凹陷:川西盆地的新生界和上白垩统地层都局限在盆地的南部,与龙门山南段的褶皱冲断构造和飞来峰构造带,在空间上构成明显的对应关系(图 2-f)。上白垩统夹关组和始新统芦山组残余地层厚度在山前地区达 3400 余米,其中发育多套紫红色砾岩层段,并且向南东方向逐渐减薄,形成楔状磨拉石沉积,表现出典型的前陆盆地沉积特点^[10]。这个晚白垩纪—古近纪时期的前陆盆地明显叠加在早期的晚三叠世周缘前陆盆地之上,笔者将它称之为再生前陆盆地。这期前陆盆地在大约渐新世时期又经历了一次褶皱逆冲变形,第四系和局部古近系不整合覆盖其上。该地区第四纪沉积厚度有 100~500 m,说明川西盆地南部现今依然存在持续的沉降作用。

3 川西前陆盆地中—新生代沉降中心迁移

综上所述,川西前陆盆地的同造山沉降中心以四川盆地中心为核心在西部和北部呈弧形迁移,沉积序列不断更替和叠加。四川克拉通周缘的前陆盆地在晚三叠世时期发育于龙门山山前,明显属于龙门山褶皱逆冲构造载荷所形成的前渊凹陷,这与龙门山晚三叠世的强烈构造活动相关;侏罗纪早期的沉积地层呈面状分布,没有表现出显著的挠曲沉降,指示了一个构造相对平静的阶段,反映了周缘造山带的构造活动较弱;中侏罗世早期前渊凹陷迁移至米仓山山前,前陆冲断带从晚三叠世的北东向转换为近东西向,广泛的湖泊相沉积预示了前陆盆地的欠充填状态;中侏罗世的沉降中心又迁移到大巴山山前,相应的挠曲变形又从近东西向转化为北西向,构成了大巴山的前渊凹陷,而该时期南大巴山发育了强烈的逆冲褶皱构造;晚侏罗世—早白垩世时期,沉降中心再次回到米仓山山前,巨厚的前渊凹陷沉积指示了米仓山前陆冲断带的主要活动时期;白垩纪末—古近纪的前渊凹陷居然跃迁至雅安—名山地区(图 3),反应了印藏碰撞在川西地区的构造和沉积响应,在川西南盆地内同样发育有多排新生代的构造背斜带^[19]。

川西前陆盆地沉降中心的迁移过程基本上反映了盆地周缘褶皱冲断带的构造强烈活动时间,进一步确认了中—新生代川西盆地与其周缘造山带的构

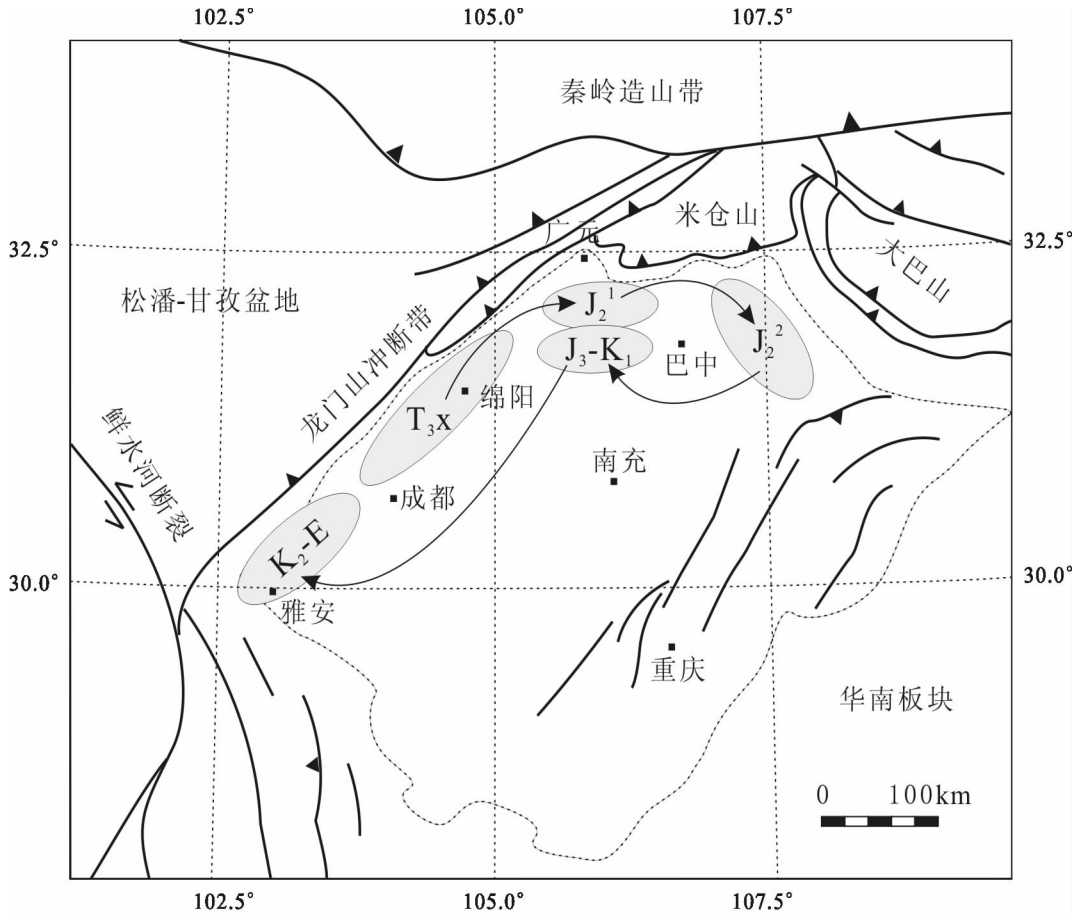


图 3 川西前陆盆地的沉积迁移与构造转换
(图例和代号见图 2;椭圆示意前渊拗陷位置;箭头示意迁移过程)

Fig.3 Meso-Cenozoic sediment transport and tectonic transition
in the western Sichuan foreland basin

(For the legend and code names, see Fig.2; ellipses illustrate the foredeep position;
arrows denote the process of sediment transport and tectonic transition)

造迁移和转换过程:晚三叠世龙门山(LMS)→中侏罗世大巴山→晚侏罗世—早白垩世川北地区→早新生代龙门山南段,这对于开展川西盆地周缘冲断带构造叠加部位的构造解析研究提供了一个框架和思路。

4 川西前陆盆地中—新生代盆地构造叠加

川西地区的沉降中心的迁移以及各时期不等厚的陆相碎屑沉积使得盆地的不同构造位置产生了不同的构造沉降,最终会使盆地内沉积地层的展布状态发生改变。为此,笔者主要依据钻井分层,分析讨论了川西盆地中—新生界构造层的底面构造的整体

展布情况。由上三叠统底界构造图(图 4-a)清楚地看出,须家河组底界深度等值线分布形态与它的残余厚度等值线(图 2-a)大致相似,只是底界埋深中心比较早期沉积中心具有少量的偏北移动,底界面形状类似于东西向短轴半向斜构造,说明后期的构造变形只是少许改造了早期的盆地形态或者是基本同方向构造的叠加。但是南段的等值线构造形态已经发生改变,由原来的 NW-SE 转变为 NE-SW。从侏罗系底界构造图(图 4-b)与其残余厚度图(图 2-b)的对比不难看出,早侏罗世时期面状薄层沉积的底界面遭受后期构造改造,形成近东西向的宽缓向斜,变形集中于川西北地区,推测其来源于龙门山与米仓

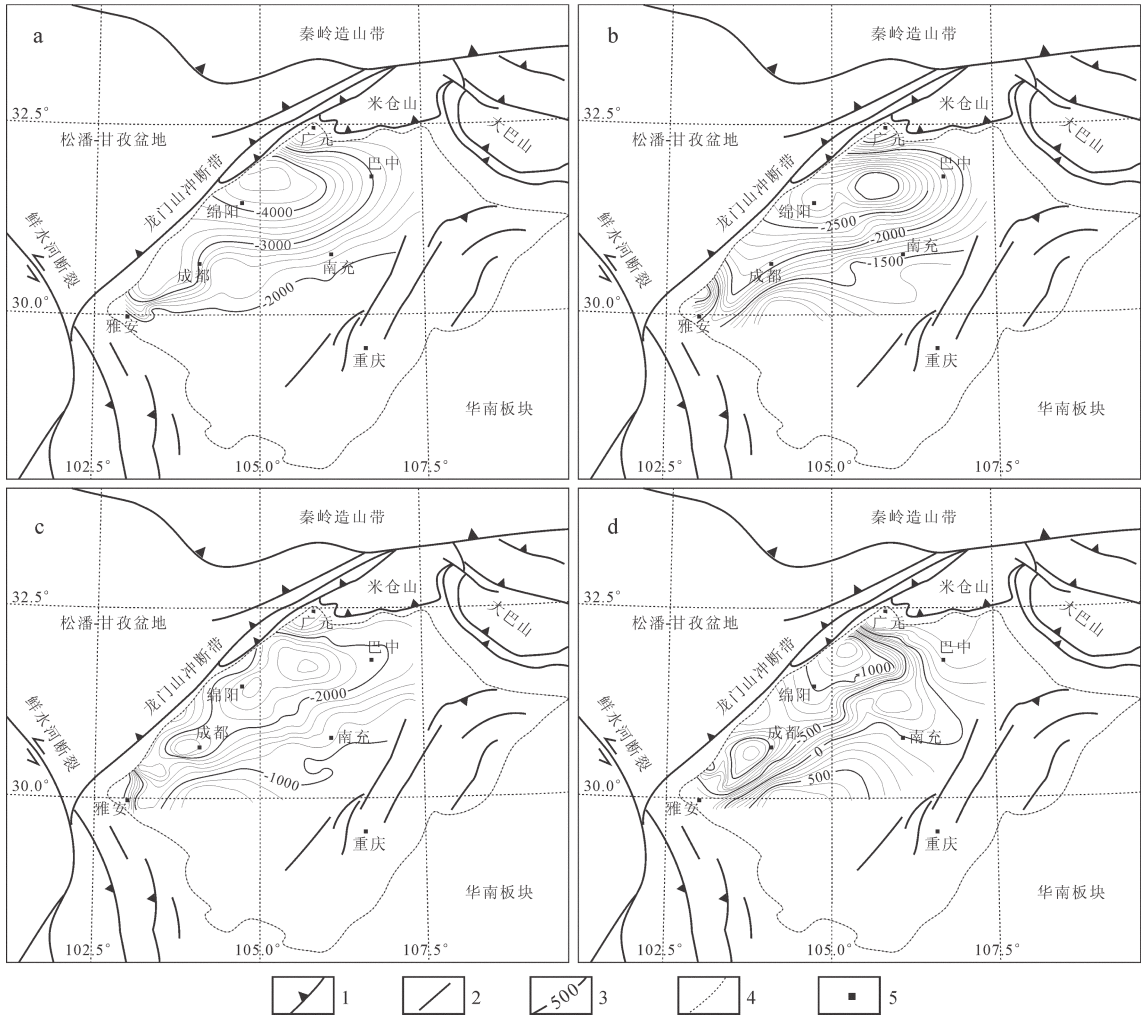


图4 中—新生界构造层底界深度图(图例见图2;单位:m)

a—上三叠统须家河组底界;b—侏罗系底界;c—中侏罗统沙溪庙组底界;d—上侏罗统底界

Fig.4 Depth map of the base of the Meso-Cenozoic tectonic sequences in the western Sichuan foreland basin (For the legend and code names, see Fig.2;elevation unit:m)

a-Base of the Upper Triassic Xujiahe Formation;b-Base of the Jurassic;c-Base of Middle Jurassic Shaximiao Formation(J_3^2);d-Base of the Upper Jurassic

山交汇处的南北向挤压应力作用。同样南段的等值线构造形态也发生改变,走向呈 NE-SW 向。

前面已经论述了中侏罗统沙溪庙组的沉积中心位于大巴山山前,可以看作是大巴山的前渊凹陷。而在中侏罗统沙溪庙组底界构造图(图4-c)中,看到的却是一个宽缓向斜构造出现在川西北地区,褶皱轴向近东西,南部偏向东北方向。同样暗示了一个南北向挤压应力的存在,造成原型盆地基底构造的改变。同样发现南段的中侏罗统沙溪庙组底界构造图

等值线走向也呈 NE-SW 向。类似的情况同样可以在上侏罗统底界构造图(图4-d)中。沉降中心所反映得大巴山南缘前陆冲断和其前缘构造沉降的形成与燕山运动 A 幕(175~160 Ma)在时间上是吻合的。而晚侏罗世—早白垩世时期,沉降中心再次回到米仓山前,巨厚的前渊凹陷沉积指示了米仓山前陆冲断带的主要活动时期。该期米仓山冲断带及其前渊沉积在时间上与燕山运动 B 幕也有一致的关系(156~139Ma)^[20]。通过燕山板内造山带侏罗纪内四川

盆地的沉积特征可能反映了大巴山和米仓山受燕山运动的影响而产生的构造活动,从而表现出沉积展布与燕山运动的南北向挤压和缩短的一致性。赵越等^[20]通过燕山板内造山带侏罗纪主要变形事件的构造分析,说明其东西向的褶皱-逆冲带的变形反映了南北向的挤压和地壳缩短,与中蒙边境大型推覆构造和内蒙古大青山推覆构造的时代一致。这一时期重要的构造事件是蒙古—鄂霍次克海自西向东的逐渐封闭和西伯利亚地块与华北蒙古地块的碰撞。拼合事件结束与晚侏罗世致早白垩早期。当燕山陆内变形带的侏罗纪主要变形事件发生时华北地块与扬子地块碰撞和拼合的主要过程已完成。但可能受其影响,在四川盆地北部形成了中晚侏罗世大巴山和米仓山冲断带的活动以及他们的前渊充填沉积。

至此,可以发现,所有中生界各层底界构造图现今的构造低部位位于川西北地区 and 川西南地区。而且在川西北地区均发现有东西走向的等值线分布,可能指示了川西北地区存在南北向构造挤压,并且与龙门山北段和米仓山的交汇处相呼应,这种挤压应力场与米仓山晚侏罗世至早白垩世前渊坳陷形成的南北向应力场基本一致,而与龙门山冲断带所表现出的东北向应力场明显不同。而且所有构造层底界构造走向在龙门山南段前缘表现出与龙门山南段构造走向一致的特征,这种改造可能反映了晚白垩世至早新生代龙门山南段冲断作用和前渊充填。通过以上分析,就可以推断出改造原型盆地的这次重要事件的发育时间,即晚侏罗世至早白垩世以及白垩纪末期至早新生代,整体上晚侏罗世至早白垩世的构造变形控制了整个川西盆地的构造变形,而晚期的新生代构造变形则主要体现在川西盆地的西南部,并使得川东和川北地区发生明显的构造抬升,造成中—新生界的抬升和剥蚀,在川西北盆地内则没有明显的响应。

5 结 论

川西前陆盆地的同造山沉降中心以四川盆地中心为核心在西部和北部呈弧形迁移,沉积序列不断更替和叠加。在晚三叠世时期发育于龙门山山前,明显属于龙门山褶皱逆冲构造载荷所形成的前渊凹陷;中侏罗世早期前渊凹陷迁移至米仓山山前,前陆冲断带从晚三叠世的东北向转换为近东西向;中侏罗世的沉降中心又迁移到大巴山山前,相应的挠曲

变形又从近东西向转化为北西向,构成了大巴山的前渊凹陷;晚侏罗世—早白垩世时期,沉降中心再次回到米仓山山前,巨厚的前渊凹陷沉积指示了米仓山前陆冲断带的主要活动时期;白垩纪末—古近纪的前渊凹陷居然跃迁至雅安—名山区。

所有中生界各层底界构造图现今的构造低部位位于川西北地区 and 川西南地区,而且在川西北地区均发现有东西走向的等值线分布,而川西南地区等值线走向则为北东—南西向。从可能指示了川西北地区存在南北向构造挤压,整体上晚侏罗世至早白垩世的构造变形控制了整个川西盆地的地层展布,而晚期的新生代构造变形则主要体现在川西盆地的西南部,并使得川东和川北地区发生明显的构造抬升,造成中—新生界的抬升和剥蚀,在川西北盆地内则没有明显的响应。

致谢:感谢贾承造院士的指导和帮助,感谢评审专家提出的意见。

参考文献 (References):

- [1] 贾承造, 宋岩, 魏国齐, 等. 中国中西部前陆盆地的地质特征及油气聚集 [J]. 地学前缘, 2005, 12(3):3-13.
Jia Chengzao, Song Yan, Wei Guoqi, et al. Geological features and petroleum accumulation in the foreland basins in central and western China [J]. Earth Science Frontiers, 200512(3):3-13(in Chinese with English abstract).
- [2] 卢华复, 贾承造. 库车—柯坪再生前陆冲断带构造[M]. 北京: 科学出版社, 2003:19-112.
Lu Huaifu, Jia Chengzao. Structures of Kuqa—Keping Rejuvenated Foreland Thrust Belt [M]. Beijing: Science Press, 2003:19-112(in Chinese).
- [3] 汪泽成, 刘和甫, 熊宝贤, 等. 从前陆盆地充填地层分析盆地耦合关系[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2001, 26(1):33-39.
Wang Zecheng, Liu Hefu, Xiong Baoxian, et al. Basin—mountain coupling analysis from filling stratigraphy of foreland basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(1):33-39(in Chinese with English abstract).
- [4] 刘树根, 罗志立, 赵锡奎. 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.
Liu Shugen, Luo Zhili, Zhao Xikui. 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 [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(2):177-186(in Chinese with English abstract).
- [5] 刘和甫, 梁慧社, 蔡立国, 等. 川西龙门山冲断系构造样式与前陆盆地演化 [J]. 地质学报, 1994, 68(2):100-117.

- Liu Hefu, Liang Huishe, Cai Liguu, et al. Structural systems of the Longmenshan thrust belt and evolution of the foreland basin in western Sichuan province, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1994, 68(2):100-117(in Chinese with English abstract).
- [6] 郭正吾, 邓康龄, 韩永辉. 四川盆地形成与演化[M]. 北京:地质出版社, 1996:48-138.
- Guo Zhengwu, Deng Kangling, Han Yonghui. The Formation and Development of Sichuan Basin [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1996:48-138(in Chinese).
- [7] 刘树根, 罗志立, 戴苏兰, 等. 龙门山冲断带的隆升和川西前陆盆地的沉降[J]. *地质学报*, 1995.9(3):205-213.
- Liu Shugen, Luo Zhili, Dai Sulan, et al. The uplift of Longmenshan thrust belt and subsidence of the western Sichuan foreland basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1995, 9(3):205-213(in Chinese with English abstract).
- [8] 刘树根, 赵锡奎, C J L Wilson, 等. 龙门山造山带-川西前陆盆地系统构造事件研究[J]. *成都理工学院学报*, 2001, 28(3):221-230.
- Liu Shugen, Zhao Xikui, C J L Wilson, et al. Study on the tectonic events in the system of the Longmen mountain-west Sichuan foreland basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2001, 28 (3):221-230 (in Chinese with English abstract).
- [9] 贾东, 陈竹新, 贾承造, 等. 龙门山褶皱冲断带构造解析与川西前陆盆地的发育[J]. *高校地质学报*, 2003, 9(3):462-469.
- Jia Dong, Chen Zhuxin, Jia Chengzao, et al. Structural features of the Longmen Shan fold and thrust belt and the western Sichuan foreland basin, central China [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2003, 9(3):462-469(in Chinese with English abstract).
- [10] Jia D, Wei Guoqi, Chen Zhuxin, et al. Longmen Shan fold-thrust belt and its relation to western Sichuan Basin in central China: New insights from hydrocarbon exploration [J]. *AAPG Bulletin*, 2006. 90(9): 1425-1447.
- [11] 崔秉荃, 龙学明, 李元林. 川西坳陷沉降与龙门山的崛起 [J]. *成都地质学院学报*, 1991, 18(1):39-44.
- Cui Bingquan, Long Xueming, Li Yuanlin. The subsidence of west Sichuan depression and the rise of Longmenshan mountains [J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 1991, 18 (1):39-44(in Chinese with English abstract).
- [12] 李勇, 曾允孚. 龙门山前陆盆地充填序列[J]. *成都理工学院学报*, 1994, 21(3):46-55.
- Li Yong, Zeng Yunfu. Fill sequence of Longmen mountains foreland basin [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 1994, 21(3):46-55(in Chinese with English abstract).
- [13] 曾允孚, 李勇. 龙门山前陆盆地形成与演化 [J]. *矿物岩石*, 1995, 15(1):40-49.
- Zeng Yunfu, Li Yong. The formation and evolution of Longmen mountains foreland basin [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 1995, 15(1):40-49(in Chinese with English abstract).
- [14] 赵永刚, 雷卞军, 杨跃明, 等. 川西邛崃县白马庙气田上侏罗统蓬莱镇组沉积相及砂体展布研究 [J]. *中国地质*, 2004, 31(3):284-288.
- Zhao Yonggang, Lei Bianjun, Yang Yueming, et al. Sedimentary facies and sandbody distribution of the Upper Jurassic Penglaizhen Formation in the Baimamiao gas field, Qionglai County, western Sichuan [J]. *Geology in China*, 2004, 31 (3):284-288 (in Chinese with English abstract).
- [15] 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).
- [16] 曾联波, 李跃纲, 张贵斌, 等. 川西南部上三叠统须二段低渗透砂岩储层裂缝分布的控制因素[J]. *中国地质*, 2007, 34(4):622-627.
- Zeng Lianbo, Li Yuegang, Zhang Guibin, et al. Controlling factors for fracture distribution in the low-permeability sandstone reservoir of the Second Member of the Upper Triassic Xujiache Formation in the south of western Sichuan [J]. *Geology in China*, 2007, 34(4):622-627(in Chinese with English abstract).
- [17] 张箭, 徐强, 廖仕孟, 等. 川西龙门山前陆盆地构造沉降初步分析[J]. *沉积与特提斯地质*, 2002, 22(4):67-72.
- Zhang Jian, Xu Qiang, Liao Shimeng, et al. Tectonic subsidence of the Longmenshan foreland basin in western Sichuan [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2002, 22(4):67-72(in Chinese with English abstract).
- [18] Meng Qingren, Wang Erchie, Hu Jianmin. Mesozoic sedimentary evolution of the northwest Sichuan basin: Implication for continued clockwise rotation of the South China block [J]. *GSA Bulletin*, 2005. 117(3/4):396-410.
- [19] Burchfiel B C, Chen Zhiliang, Liu Yuping, et al. Tectonics of the Longmen Shan and adjacent regions, central China[J]. *International Geology Review*, 1995, 37(8):661-735.
- [20] 赵越, 张拴宏, 徐刚, 等. 燕山板内变形带侏罗纪主要构造事件 [J]. *地质通报*, 2004, 23(9/10):854-863.
- Zhao Yue, Zhang Shuanhong, Xu Gang, et al. The Jurassic major tectonic events of the Yanshanian intraplate deformation belt [J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23 (9/10):854-863 (in Chinese with English abstract).

Meso–Cenozoic sediment transport and tectonic transition in the western Sichuan foreland basin

CHEN Zhu–xin¹, JIA Dong², WEI Guoqi¹, LI Ben–liang¹, LEI Yong–liang¹

(1. *key Laboratory of Basin Structure and Petroleum Accumulation, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Petrochina, Beijing 100083, China*; 2. *Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China*)

Abstract: The authors analyzed the residual thicknesses of various Meso–Cenozoic structural layers and sedimentary characteristics in the western Sichuan foreland basin and found the following: The foreland basin at peripheries of the Sichuan craton occurred in the front of the Longmen Mountains during the Late Triassic, evidently belonging to a foredeep formed under the structural loads of the Longmen fold–thrust; in the Early Jurassic sedimentary strata were of areal distribution with no markedly flexural subsidence, indicating a tectonically quiet stage. In the early Middle Jurassic, the foredeeps migrated to the front of the Micang Mountains and the northern segment of the Longmen Mountains and the direction of foredeep sediments changed from northeast in the Late Triassic to nearly E–W then. Widespread lacustrine sediments imply a hungry basin. During the middle–late Middle Jurassic, the subsidence center of the western Sichuan basin migrated to the front of the Daba Mountains, with the direction of the corresponding flexural deformation changing from nearly E–W to NW, forming the Daba foredeep. During the Late Jurassic to Early Cretaceous, the subsidence center again returned to the front the Micang Mountain and very thick foredeep sediments indicate the main period of activities of the Micang thrust belt. Then during the Late Cretaceous to Paleogene, the foredeep jumped to the Ya’an–Mingshan area, southwestern Sichuan. The syn–orogenic subsidence center of the western Sichuan foreland basin migrated in an arcuate form in the western and northern parts with the Sichuan basin as the center, and the sedimentary sequences alternated and were stacked continuously. The contour maps of the bottoms of various Mesozoic structural layers show that the present structure low is located in northwestern and southwestern Sichuan, with E–W–striking contours distributed in northwestern Sichuan and NE–SW–striking contours in southwestern Sichuan. Therefore this paper suggests that Late Jurassic to Early Cretaceous structural deformation might control the present deformation of strata in the western Sichuan basin, forming the N–S tectonic compressional structure in northwestern Sichuan, and that the Cenozoic structural deformation is mainly manifested in the southwestern part of the western Sichuan basin, forming a NE–SW–trending stratigraphic distribution pattern.

Key words: western Sichuan foreland basin; Meso–Cenozoic; tectonic layer; sediment transport; tectonic transition

About the first author: CHEN Zhu–xin, male, born in 1979, Ph. D, specializes in seismic interpretation and structural geometry analysis; E–mail: chenzhuxin@gmail.com.