http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

四川盆地晚三叠世碎屑组分对源区分析及印支运动的指示

施振生，杨威，谢增业，金惠，谢武仁

中国石油勘探开发研究院廊坊分院，河北廊坊，065007

内容提要：沉积物源分析是认识盆山演化的重要途径。四川盆地上三叠统的砾岩碎屑、砂岩骨架颗粒、碎屑重矿物组分显示，晚三叠世存在5大物源，它们分布于龙门山北段-中段、大巴山、龙门山南段、盆地东南和盆地南部。碎屑物源总体以“再旋回造山带”和“大陆板块”类型为主，其中，龙门山北段-中段和龙门山南段以“再旋回造山带”类型为主，而盆地东南部和南部以“大陆板块”类型为主。“再旋回造山带”类型可细分为“混合造山带”及“碰撞造山和褶皱冲断带”两种类型，龙门山北段和龙门山南段均以“混合造山带”及“碰撞造山和褶皱冲断带”类型为特征。盆地物源分布存在阶段性特征：早期，龙门山北段-中段、大巴山物源规模较大，盆地东南和南部规模较小；晚期，盆地东南和南部规模增大，各方向呈均衡分布格局，这与周缘板块构造活动的阶段性有关。晚三叠世，龙门山北段由西北向东南方向挤压，构造活动强度总体具有弱-强-弱的演变趋势。须二期，龙门山北段逆冲-推覆开始形成，并暴露水面遭受剥蚀，向盆地提供物源；须四期为盆地最活跃期，龙门山北段进一步挤压抬升剥蚀，盆内沉积中心也由西北向东南迁移；须四期后，龙门山北段剥蚀区继续向东南推进，但构造活动强度渐趋和缓。

关键词：四川盆地；上三叠统；碎屑组分；源区；印支运动

显生宙以来，四川盆地及周边经历了多次重大的造山运动事件，而晚三叠世印支造山运动，直接影响和控制着四川盆地的形成与发育，印支造山运动的活动特征及与周缘盆地系统耦合关系的研究已成为国际大陆动力学研究的热点（Mattauer et al.，1995；许志琴等，1992；Burchfiel et al.，1995；刘树根等，1995，2001；贾东等，2003；Liu et al.，2005；Meng et al.，2005；邓康龄，2007）。对邻近造山带盆地充填物的解析已成为造山作用研究的重要补充。尽管对四川盆地上三叠统地层和沉积学研究已经获得了多方面进展（如张金亮等，2000；侯方浩等，2005；张健等，2006；施振生等，2008），并对印支造山运动与四川盆地的形成提出了初步认识（Liu et al.，2005；Meng et al.，2005）；然而，由于四川盆地经历了多期构造运动，早期构造变形多被后期构造变形改造、湮没或剥蚀，特别是由于以往在四川盆地上三叠统碎屑沉积记录信息提取的完整性等方面存在不足，致使印支造山运动的活动特征及其与四川盆地演变的成因动力学关系尚不明确。本文从砾岩碎屑、砂岩骨架颗粒、碎屑重矿物组分及盆地充填序列等方面对四川盆地晚三叠世不同尺度的沉积记录进行了系统分析，试图进一步解析四川盆地及周边演化历史及其对印支造山运动的反映。

1 地质背景

四川盆地上三叠统是在中三叠世末印支早期运动的基础上形成的（王宓君等，1987）。随着印支运动的发生，上扬子海盆结束了大规模的海侵活动。在经过一段时间的剥蚀以后，四川盆地仍然保持着东高西低的古地貌特征，随之进入了以内陆湖盆为主的发展阶段。晚三叠世早期，四川盆地北部为秦岭-大巴山造山带，西北部为龙门山造山带，西部为康滇古隆起，东南部为江南古隆起（图1）。少量海水通过康滇古隆起与龙门山造山带间的缺口进入盆地西部，在不大的范围内沉积了一套浅海相的须一段沉积（小塘子组），当时广大东部地区地势较高，未接受沉积（王宓君等，1987）。以后，西侧海水后撤，盆内从此与外海隔绝，一个以四川盆地为中心的大

注：本文为国家重点基础研究发展规划（973）项目课题（编号 2007CB209503）资助的成果。

收稿日期：2008-10-15；改回日期：2009-06-20；责任编辑：郝梓国。

作者简介：施振生，男。1976年生，博士，高级工程师。沉积地质学专业。Email：Shizs69@petrochina.com.cn。

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

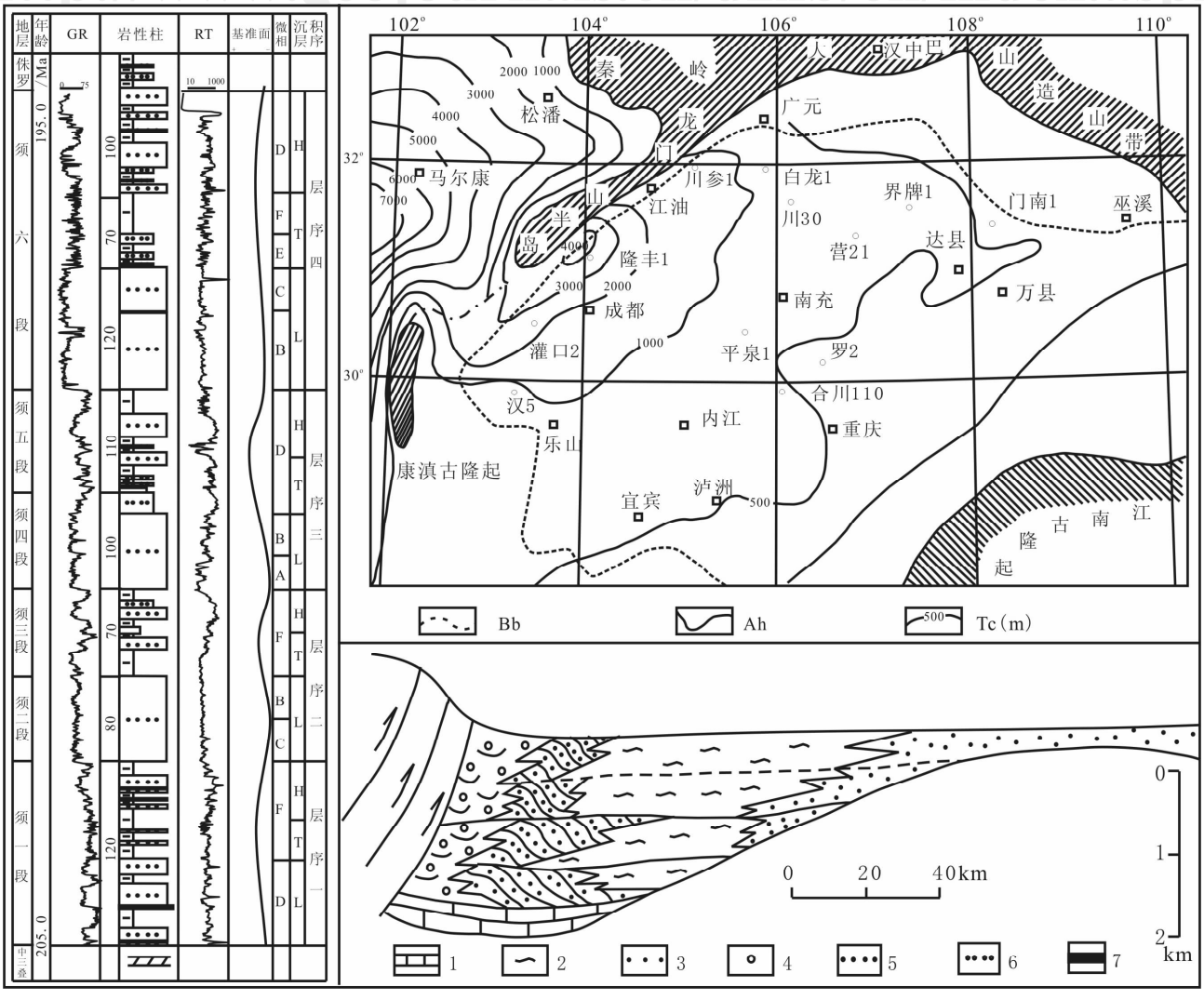


图 1 四川盆地上三叠统地层及古构造背景(据施振生等,2008,左图,王宓君,1987,右图,有修改)

Fig. 1 Geological map showing stratigraphy and paleo-tectonic setting of Upper Triassic in Sichuan Basin (Modified from Shi Zhensheng et al., 2008, left, Wang Bijun, 1987, right)

1—灰岩;2—泥岩;3—砂岩;4—砾岩;5—细砂岩;6—粉砂岩;7—煤层;A—水下分支河道;B—水上分支河道;C—河口砂坝;D—远端砂坝;E—滨湖;F—浅湖;Bb—盆地边界;Ah—古陆;Tc—地层等厚线;L—低位体系域;T—水进体系域;H—高位体系域

1—limestone; 2—mudstone; 3—sandstone; 4—conglomerate; 5—fine-grained sandstone; 6—siltstone; 7—coal; A—submarine distributary channel; B—distributary channel; C—channel-mouth bar; D—distal bar; E—shore lake; F—shallow lake; Bb—basin boundary; Ah—ancient highland; Tc.—thickness contour; L—lowstand systems tract; T—transgressive systems tract; H—highstand systems tract

型内陆湖盆逐渐形成,开始接受主要由厚层砂岩和泥页岩、粉砂岩夹煤层相间组成的上三叠统沉积。

上三叠统须家河组由下至上划分为 6 个岩性段(图 1)(张健等,2006),与下伏中三叠统碳酸盐岩呈假整合接触。须一段仅发育于川西北龙门山向盆地方向的前陆盆地中。须二、须四段和须六段下部盆地内均以砂岩为主,间夹少量薄煤层、煤线或炭质泥岩、粉砂质泥岩;须三段和须五段以煤系地层为主夹砂岩层;须六段为砂、泥岩互层。因受印支晚期运动的影响,须六段在部分地区沉积较薄或仅为剥蚀残余,甚至被剥蚀怡尽。

2 碎屑沉积记录

选取四川盆地上三叠统综合录井图 425 口、观察野外露头剖面 12 条、描述岩心 52 口共 3500m 进行研究。首先,对各单井进行地层划分和对比,并按层段分别统计砾岩、砂岩、粉砂岩和泥岩厚度,编制各组分等值线图,弄清物源方向。在此基础上,统计

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

135 口单井岩石薄片资料,选送川中地区碎屑重矿物分析样品 47 块,弄清源区构造属性。本次研究野外露头和单井资料主要集中于川西和川中,川东资料相对较少。岩石样品都选自三角洲和辫状河沉积体系,总体符合物源分析的取样要求(Ingersoll,1990;Ingersoll et al.,1993)。

2.1　砾岩

沉积岩中砾石的成分和结构,不仅是物源区岩石类型的直接反映,而且可以指示物源区构造属性。另外,砾石在盆地内的分布,也可以反映物源搬运路径和盆地结构。

四川盆地上三叠统砾石主要分布于须二段和须四段,须六段分布较少,空间分布上具有明显的继承性(图 2)。须二段,砾石主要分布于川西北段、界牌 1 井区和川西南段。川西北段砾石以石英片岩和粉砂岩为主,局部层段含有撕裂状泥页岩,砾径小于 15cm,次圆状,成分成熟度较高。砾石呈由西北向东南层厚减薄(川参 1 井厚 82m,白龙 1 井厚 65m,而川 30 井仅为 8m)、砾径变细、成分成熟度增高的趋势,这可能说明当时物源由西北方向进入盆地,且川西北段露头砂岩斜层理倾向玫瑰花图也有同样的趋势(郭正吾等,1966)(图 2)。界牌 1 井区砾石以泥页岩、粉砂岩、花岗岩和千枚岩为主,砾径小于 10cm,由东北向西南方向砾岩层厚减薄、砾径变细、成分成熟度增高。川西南段仅汉 5 井区有少量砾石发育,以泥页岩和粉砂岩为主,次圆状,层厚小于 20m,由东南向西北方向逐渐减薄。整体上,须二段砾石成分成熟度和结构成熟度较高,反映了当时构造活动较为平静,而砾石以碎屑岩为主,下伏中三叠统碳酸盐岩岩屑没有发现,也表明构造隆升幅度较小,须家河组还未见底。

须四段砾石仍主要分布于川西北部和界牌 1 井区,门南 1 井区和川西南段仅有少量分布。川西北段砾石以碳酸盐岩、岩浆岩和石英片岩为主,次棱角状-次圆状,砾径大者约 0.8m,与须二段相比,砾岩结构成熟度明显降低,分布范围和厚度明显增大(白龙 1 井厚 150m,川 30 井为 17m),这揭示了源区构造活动明显增强;且砾石成分由以碎屑岩为主变为以碳酸盐岩为主,砾石含有丰富的仅分布于须一段下部中的有孔虫(刘树根等,1995),这说明须家河组底部海相地层开始遭受剥蚀。界牌 1 井区和门南 1 井区砾石以石英片岩和燧石为主,砾岩分布范围和厚度也有所增大,且界牌 1 井区砾岩展布有自西向东旋转的趋势,这可能与源区由西北不断向东南方向推进,沉积-沉降中心向东迁移有关。川西南段砾石仅分布于灌口 2 井区,相对于须二段,分布面积稳定,这反映了该时期构造活动比较稳定;但延伸方向和分布区域发生变化,这可能与该区物源方向发生变化有关。

总之,四川盆地上三叠统砾石主要分布于川西和川东北部地区,川中和川南地区很少见到,这可能与川西和川东北部地区位于前陆冲断带,周缘板块构造挤压强烈有关;而川中和川南地区距前陆冲断带位置较远,构造应力较弱。另外,砾石仅分布于须

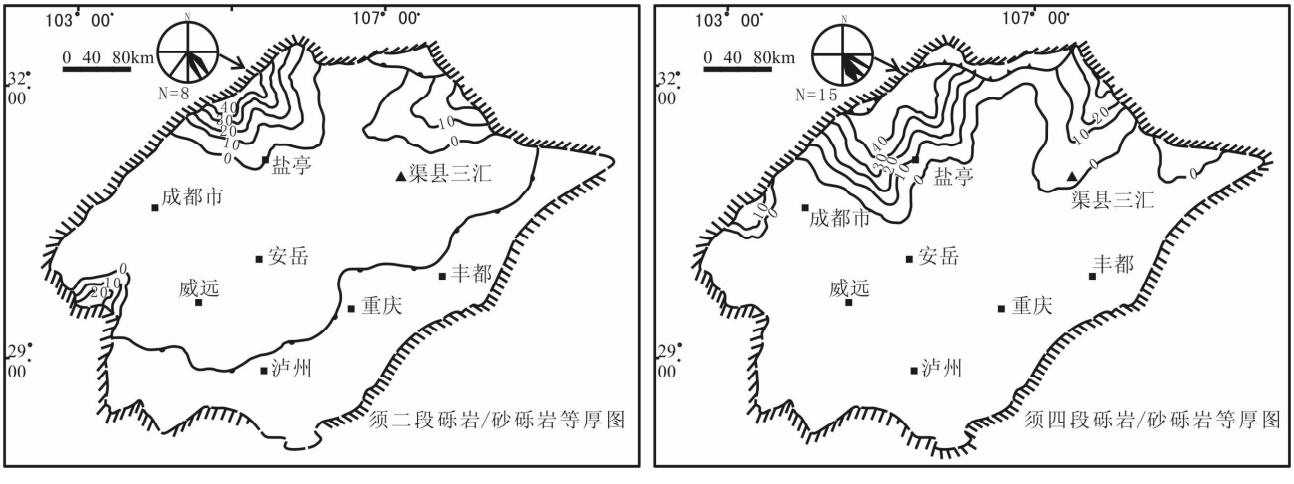
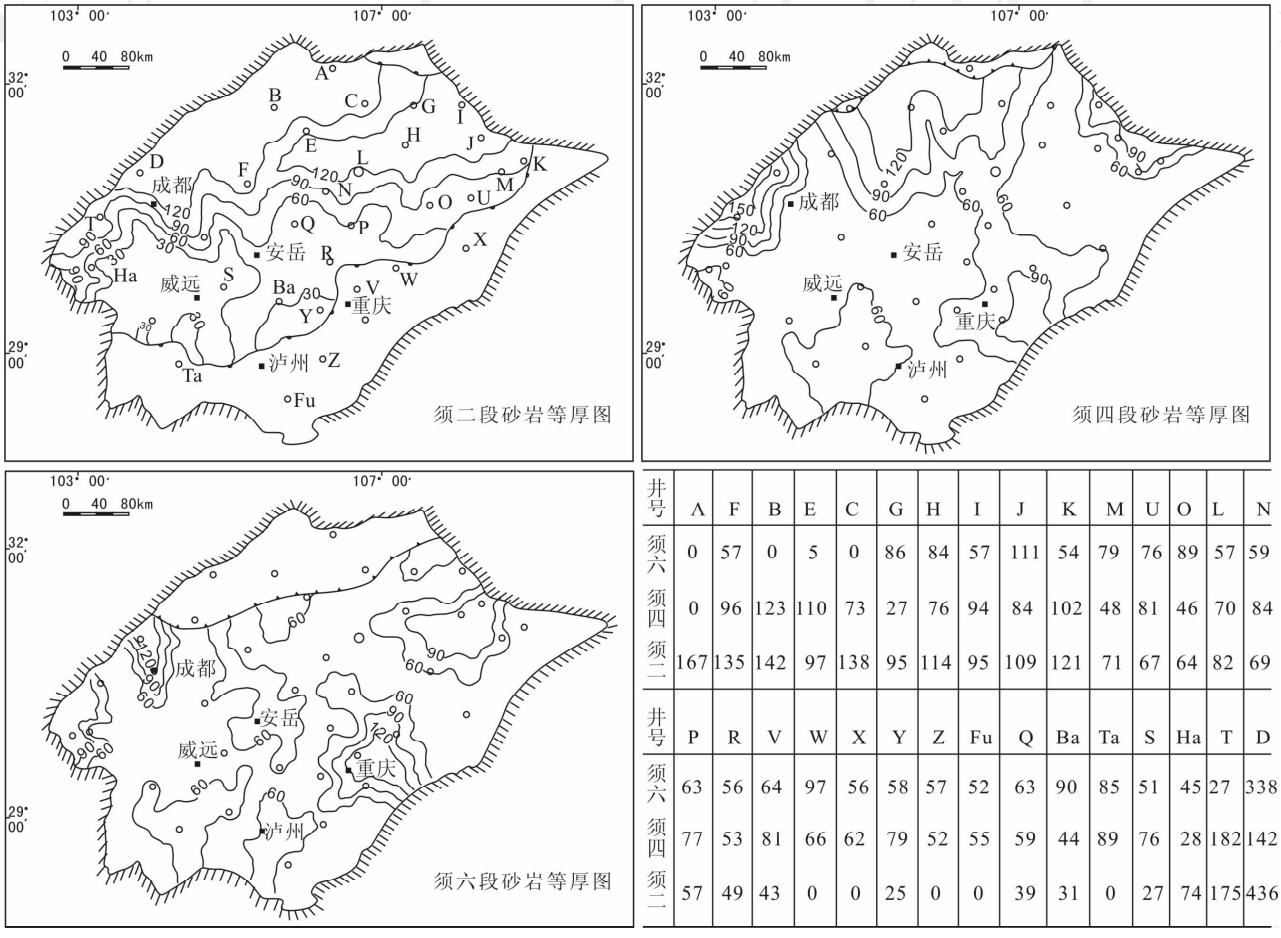


图 2　四川盆地须家河组砾岩/砂砾岩厚度展布,左图中,砂岩斜层理倾向玫瑰花图显示流向为 S5°～30°E 和 S40°～50°E,右图显示流向为 S5°～40°E 和 S60°～70°E

Fig. 2　The distribution of thickness of sand-gravel stone of the Upper Triassic in Sichuan Basin. Flow rose diagrams of inclined bedding of sandstone show that the angle of current is S5°～30°E and S40°～50°E in left and S5°～40°E and S60°～70°E in right



井号	A	F	B	E	C	G	H	I	J	K	M	U	O	L	N
须六	0	57	0	5	0	86	84	57	111	54	79	76	89	57	59
须四	0	96	123	110	73	27	76	94	84	102	48	81	46	70	84
须二	167	135	142	97	138	95	114	95	109	121	71	67	64	82	69

井号	P	R	V	W	X	Y	Z	Fu	Q	Ba	Ta	S	Ha	T	D
须六	63	56	64	97	56	58	57	52	63	90	85	51	45	27	338
须四	77	53	81	66	62	79	52	55	59	44	89	76	28	182	142
须二	57	49	43	0	0	25	0	0	39	31	0	27	74	175	436

图 3 四川盆地须家河组砂岩厚度展布图

Fig. 3 The distribution of sand body thickness of the Upper Triassic in Sichuan Basin

二段和须四段，且须四段分布面积大，成熟度降低，这可能反映了周缘板块构造应力由须二段到须四段逐渐增强，然后又逐渐减弱的趋势。

2.2 砂岩

须家河组发育 5 大砂体，但不同时期砂体分布位置及规模存在差异（图 3）。须二段，砂体主要发育于龙门山北段-中段和大巴山方向，龙门山南段和盆地东南方向砂体规模较小。龙门山北段-中段砂体厚度由西北向东南逐渐减薄（B 井厚 138m，D 井厚 436m，而 Q 井仅厚 57m），大巴山方向砂体厚度由东北向西南方向减薄，而盆地东南方向砂体则由东南向西北方向减薄。三个方向砂体前方交汇于安岳、遂宁一带，影响着该地区优质储层的发育（谢武仁等，2008）。龙门山南段砂体主要来自西北和西南方向，但以西南方向为主。须四段，盆内仍发育 5 大砂体，龙门山北段-中段和大巴山方向砂体厚度增大，但分布范围减小，而盆地东南方向砂体明显加强。来自龙门山中段-北段方向砂体与来自盆地东南方向砂体在广安地区交汇，控制着气藏的规模及分布。龙门山南段砂体规模也明显增大，主要呈向西北方向减薄的趋势。须六段，盆内砂体主要分布位置与前期相似，但呈均衡分布格局，除来自盆地东南方面规模稍大之外，其它各个方向基本相近。

整体上，须家河组砂体早期呈西北厚、东南薄，中期西北方向收缩、东南方向增大，晚期则各方向砂体规模一致、均衡分布的特点，这可能与周缘板块构造活动阶段性有关。早期，周缘板块构造活动比较强烈，盆地西北部逆冲抬升，物源供给充分，而盆地东南部构造隆升幅度较小，构造相对平静有关，故西北方向物源供给充分，而盆地东南部物源供给不足；中期，周缘板块构造活动更趋强烈，盆地西北部构造隆升较快，在构造应力和沉积载荷的共同作用下，前渊凹陷带挠曲下降；同时，盆地东南部大幅度隆升，故西北部砂体分布范围缩小，盆地东南部砂体规模增大；晚期，周缘板块构造活动趋于平静，盆地处于过补偿阶段，周围隆起剥蚀严重，砂体均衡分布（刘

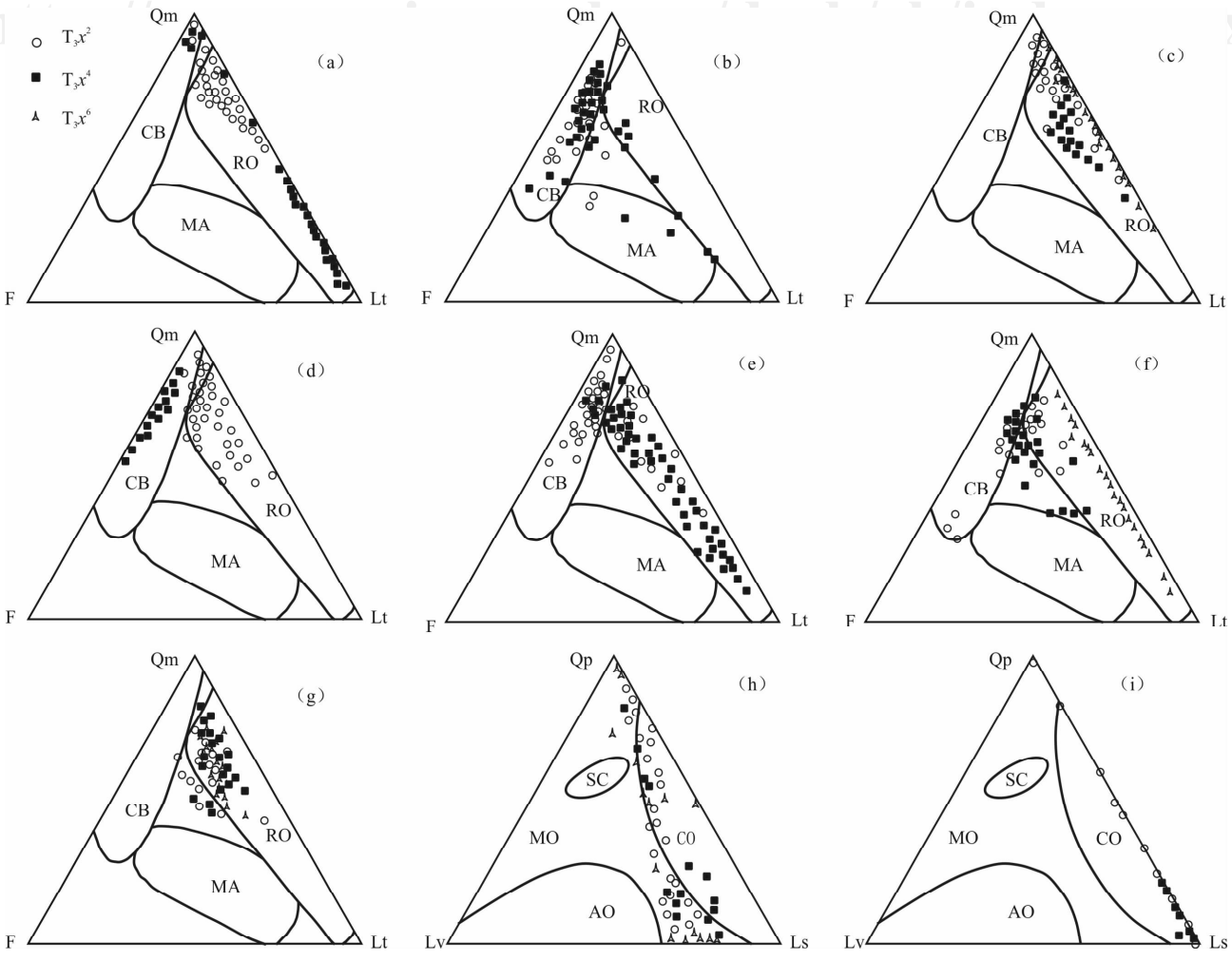


图 4　四川盆地上三叠统砂岩碎屑成分三角图(判别底图据 Dickinson and Suczek,1979,Dickenson,1988)

图 4　Triangular plots showing the Upper Triassic sandstone modes for Sichuan Basin. Provenance fields are from Dickenson and Suczek(1979)and Dickenson(1988)

(a),(h)—龙门山北段;(b)—营山地区;(c)—金华地区;(d)—安岳地区;(e),(i)—龙门山南段;(f)—威远地区;(g)—广安地区;。三角图中 CB、RO 和 MA 分别代表大陆板块、再旋回造山带和岩浆弧物源投点区域;SC、CO、AO 和 MO 分别代表俯冲混杂岩、碰撞造山-褶皱冲断带、弧造山带和混合造山带物源。成分代号:Qm—单晶石英; F—长石总量; Lt—岩屑颗粒总量

(a),(h)—the north part of Longmenshan; (b)—Yingshan area; (c)—Jinhua area; (d)—Anyue area; (e), (i)—the south part of Longmenshan;(f)—Weiyuan area;(g)—Guang'an area. CB, continental block provenances; RO—recycled orogen provenances; MA—magmatic arc provenances; SC—subduction complex; CO—collision orogen; AO, arc—orogen; MO—mixed orogen; Qm—monocrystalline quartz; F—plagioclase + potassium feldspar; Lt—total lithic fragments, including Lv(volcanic-rock fragments) $L_{carbonate}$ (carbonate-rock fragments), Ls + Lm (sedimentary- and metamorphic-rock fragments combined), Qp (polycrystalline quartz, including chert), and unidentified grains

树根等,1995)。

另外,本文参照 Dickinson et al.(1979)和李忠等(2004)研究,对砂岩岩石薄片的成分进行了统计。

统计结果表明,上三叠统碎屑物源总体以"再旋回造山带"和"大陆板块"类型为主,其中,盆地西北部以"再旋回造山带"类型为主,而盆地东南部以"大陆板块"类型为主(图 4)。须二段,龙门山北段、F 井区和安岳地区砂岩成分成熟度较高,碎屑物源均属于"再旋回造山带"类型。龙门山南段和威远地区物源构造属性相对复杂,既有"再旋回造山带"类型,又有"大陆板块"类型,但以"大陆板块"类型为主,这可能与其受多个物源影响有关。且与龙门山北段相比,龙门山南段砂岩成分成熟度明显偏低,龙门山北段 Qm-F-Lt 图中 Lt(%)介于 4～26,而龙门山南段介于 27～60,这可能昭示了龙门山南段受西南方向"大陆板块"物源近距离影响较强,而龙门山北段受影响较弱。L 井区砂岩碎屑物源属于"大陆板块"类型,与 F 井区完全不同,这可能暗示了不同的源区

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

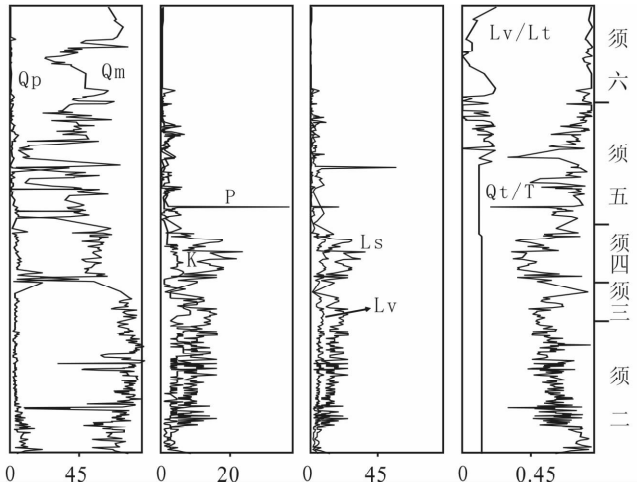
构造属性。须四段,龙门山北段和 F 井区碎屑物源仍属于“再旋回造山带”类型,但与须二段相比,龙门山北段 Qm-F-Lt 图中 Lt(%)含量明显增高,须二段 Lt(%)为 5～40,而须四段为 50～90,这可能与源区较近、构造活动增强有关。金 106E 井区岩屑含量相对较低,Lt(%)为 25～50,这与其距源区相对较远、遭受风化剥蚀作用较长有关。L 井区碎屑物源仍以“大陆板块”类型为主,但含有少量“再旋回造山带”类型和“岩浆弧”类型,与龙门山北段物源根本不同,但在局部有受其影响的迹象。龙门山南段碎屑物源“大陆板块”类型含量减少,“再旋回造山带”类型增多,但砂岩成分成熟度相对稳定,这说明随着湖岸线由西北向东南逐渐超覆、湖盆范围逐渐增大,“大陆板块”物源影响逐渐减弱,“再旋回造山带”影响逐渐增强,但源区构造属性仍然相对平静。与龙门山南段相似,安岳地区物源类型也发生了改变,由以“再旋回造山带类型”为主变为以“大陆板块”类型为主,且平面上与重庆地区类似,这也说明了其物源方向改变,由先期受龙门山北段物源控制变为受东南物源控制。威远地区砂岩成分复杂,这与其受到多方向物源影响有关。须六段岩石薄片资料较少,主要集中于金华地区和威远地区,碎屑物源均属于典型的“再旋回造山带”类型,这可能与此时构造抬升,先期沉积的地层普遍受到剥蚀有关。

在 Qp-Lv-Ls 图中样品点相对集中,龙门山北段和龙门山南段均以“混合造山带”及“碰撞造山和褶皱冲断带”类型为特征,“弧造山带”类型没有出现。但龙门山南段样品点均在 Qp-Ls 线附近,火山岩岩屑含量极低,反映了源区构造平静,火山活动较少。

龙门山北段砂岩中不同碎屑成分在剖面上演变整体构成一个大旋回,峰值点对应于须四段下部(图 5,表 1)。斜长石、钾长石、沉积岩岩屑和火山岩岩屑含量先由须二段向须四段逐渐升高,须三段上部略有下降,须四段达到最大值,然后又逐渐降低;而石英总含量在剖面上却构成一个由高到低再升高的旋回,须二段含量较低,须四段达到低谷,然后逐渐升高。与之相对应的单晶石英含量在须二段和须三段却呈现高值(约 70%),须四段和须五段突然降低,且须四段底部出现一个低峰(含量仅 5%)。岩浆岩岩屑与沉积岩岩屑比值在剖面上演化却非常稳定,几乎呈一垂直线(含量约为 0.1%)。整体上,须四段砂岩中钾长石、斜长石、火山岩岩屑和沉积岩岩屑高值,单晶石英低值,且各成分含量均达到峰值,这可能说明了其为一个重要的构造转换期。且从岩屑成分上看,须二段沉积岩岩屑以碎屑岩为主(碳酸盐岩岩屑含量平均为 25%,最大值仅为 59%),而须四段以碳酸盐岩岩屑为主(碳酸盐岩岩屑达到 93%以上),这进一步印证了须四段构造活动强烈,上覆须家河组早期沉积剥蚀殆尽。须四段之后,构造活动又趋于平静。

2.3 碎屑重矿物

不同的碎屑重矿物组合往往是不同母岩类型的反映(Pettijohn et al.,1987;Morton,1985)。由于四川盆地上三叠统碎屑重矿物资料较少,本文重点采集了川中地区碎屑重矿物分析样品 47 块,以期对母岩类型及物源方向做出粗略估计(表 1)。



地区	层位	Lv (%)	Lc (%)	Ls (%)		
				SS	Ms	Cs
龙门山北段	须四	0	0	0.29	0.58	3.09
		0	4.19	0.5	1.9	93.1
		0	3.455	0.24	1.42	94.6
	须二	0.97	7.36	33.1	32.82	25.76
		1.77	6.98	31.6	38.9	20.8
		3.09	4.88	12.2	20.4	59.5

图 5 四川盆地龙门山北段上三叠统砂岩碎屑成分含量(%)及其比值垂向演变图

Fig. 5 Temporal variation of the Upper Triassic sandstone detrital modes(%)and their content ratios in the north of Longmenshan area of Sichuan Basin

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

表 1　四川盆地上三叠统碎屑重矿物组合及其对主要母岩类型的反映

Table 1　Provenance rock types deduced from heavy mineral assemblages in Upper Triassic of Sichuan Basin

层位	地名	母岩类型	重矿物组合	备注
须六段	罗 2	低级变质岩＋酸性岩	白钛石＋锆石＋磁铁矿	母岩类型与主要重矿物组合对应关系:①高级变质岩:石榴石、磁铁矿、绿帘石;②低级变质岩:白钛石、电气石、硬绿泥石;③酸性岩:锆石、磁铁矿
	合川 110			
须四段	营 21	酸性岩＋高级变质岩＋低级变质岩	锆石＋白钛石＋石榴子石＋磁铁矿	
	罗 2	低级变质岩＋酸性岩	白钛石＋锆石＋磁铁矿＋电气石	
	合川 110			
须二段	营 21	酸性岩＋低级变质岩	锆石＋白钛石＋磁铁矿＋电气石	
	罗 2	低级变质岩＋酸性岩	白钛石＋锆石＋电气石＋磁铁矿	
	合川 110			

川中地区上三叠统物源岩石类型以酸性岩和低级变质岩为主,高级变质岩和沉积岩含量较少,且不同地区有所区别。须二段,罗 2 井和合川 110 井重矿物组合为白钛石(48.1%)、锆石(20.3%)、电气石(12.2%)和磁铁矿(10.3%),并含有少量的绿帘石(3.4%)和褐铁矿(2.9%),反映了低级变质岩和酸性岩源区岩石类型;营 21 井为锆石(40.8%)、白钛石(39.3%)、磁铁矿(10.2%)和电气石(5.1%)重矿物组合,含有少量的赤铁矿(1.5%),反映了酸性岩和低级变质岩源区岩石类型。须四段和须六段,罗 2 井和合川 110 井重矿物组合类型基本不变,但锆石和磁铁矿含量有所增高,表明酸性岩含量增多,低级变质岩含量相对减少。营 21 井锆石(由 40.8% 降为 24.4%)和白钛石(由 39.3% 降为 20.4%)含量大幅降低,石榴子石大量出现(含量达 23%),并含有少量的褐铁矿(3.6%)和电气石(2.4%),反映了酸性岩和高级变质岩物源岩石类型。高级变质岩物源岩石类型的大量出现,可能反映了源区浅层地壳遭受剥蚀,下伏高级变质岩基底出露。须六段,营 21 井资料不完整,其物源岩石类型尚无认识。

整体上,罗 2 井和合川 110 井须家河组物源岩石类型稳定,纵向上变化不大,这可能与源区构造稳定,物源方向没有变化有关。营 21 井重矿物组合与罗 2 井和合川 110 井的差异,这可能与其来自不同源区有关。

3　讨论

四川盆地是在晚三叠世华南板块和华北板块碰撞基础上形成的,这一观点已是学术界的共识(刘和甫等,1994;贾东等,2003;Meng et al.,2005;Liu et al,2005)。但晚三叠世华南板块和华北板块的具体碰撞方式,目前存在多种解释模型。一些学者认为,晚三叠世扬子板块向松潘方向挤压,从而造成古龙门山褶皱带形成(Liu et al,2005)。但龙门山褶皱带的具体过程及形成机理,则没有阐述。另一些学者认为该时期华南板块向西消减,同时发生顺时针旋转,松潘-甘孜地区向东挤压变形,从而导致龙门山冲断带和川西前陆盆地的形成(Meng et al.,2005)该观点暗含着龙门山北段和龙门山南段是同时隆升的,在华南板块发生顺时针旋转过程中,东秦岭造山带逐渐形成。本文认为这种认识证据不足,理由是须二段和须四段砾岩都主要分布于川西北段,须四段砾岩分布范围向龙门山南段扩大,这说明须二期龙门山北段构造活动就开始活跃,龙门山南段相对平静,须四期之后,龙门山南段构造活动才逐渐强烈,造成龙门山地区全面隆升,且砂岩岩石薄片研究也有类似的结论。本文认为,晚三叠世华南板块由东南向西北与华北板块发生挤压碰撞,松潘-甘孜地区褶皱隆起,并开始向盆地提供沉积物,龙门山北段是先于龙门山南段隆升的。须家河期,龙门山冲断带发生三次逆冲-推覆作用,直接控制着前陆盆地的充填。

须二期龙门山地区是否发生逆冲-推覆作用一直存在着争论。一些学者认为龙门山地区区域力学性质到须四段才由伸展转变为挤压的,须二期逆冲-推覆作用还未开始,从而将上三叠统划分为“须下盆”和“须上盆”,认为它们为“两类性质相反的沉积建造,为不同的构造层”(王金琪,2003);另外一些学者认为,须二期龙门山地区逆冲-推覆作用已开始形成(陈竹新等,2005),但构造幅度较低,逆冲席尚未暴露水面,因此,须二盆物源主要来自北部(秦岭)和东北部,次要来自康滇和川中古陆,龙门山地区不提供物源或只提供少量物源(丘东洲等,1983;刘树根等,1995;郭正吾等,1966;邓康龄,2007)。本文认为,须二期由于地壳深部调整发生了构造反转作用,龙门山地区逆冲-推覆带开始形成,并暴露水面遭受

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

剥蚀。证据有:①岩石薄片资料分析认为,川西地区须二段源区构造属性均表现为再旋回造山带中的“碰撞造山-褶皱冲断带”和“混合造山带”类型,说明龙门山地区逆冲-推覆作用已经开始;②须二期,川西北段分布大面积砾岩和砂砾岩,为典型的磨拉石建造,且砾岩(砂砾岩)和砂岩厚度等值线图厚度由西北向东南方向减薄;③须二段沉积相研究成果也显示川西北段已暴露地表,遭受剥蚀;④从砂岩流向玫瑰花图上看,也有来自西部的物源。不过,从砾岩和砂岩成分分析可知,须二段龙门山南段逆冲-推覆作用较弱,川中前陆隆起隆升幅度较小,造成该时期物源以西北部和北部为主,东南部物源供给较少。

须四期为四川盆地周缘板块最活跃期,这一点已是学术界的共识(王金琪,2002;王金琪,2003;贾东等,2003;邓康龄,2007;郑荣才等,2008)。该运动在该地区也称“安县运动”,它不仅造成龙门山北段的强烈隆升,而且龙门山中段也发生了逆冲-推覆作用,形成了新的山系。四川盆地内部,盆地沉积中心由西北向东南迁移,西北方向砾岩和砂岩大面积分布,深刻影响着该地区的油气勘探。

印度末期运动是否存在争论较多。一些学者认为,晚三叠世晚期构造运动强烈,川西坳陷北部和中部停止沉积,演变成为风化侵蚀区(邓康龄,2007)。而另外一些学者认为,三叠纪至侏罗纪为宁静的过渡,不存在“印度末期”运动(刘树根等,2001;王金琪,2003)。本文认为,印度末期运动存在,但强度较弱,安县运动之后,龙门山北段由西北向东南不断推进,川西北部须家河组上部不断抬升或被冲断褶皱遭受剥蚀。主要证据有:①目前学术界普遍认为晚三叠世龙门山由北西向南东挤压缩短(罗志立等,1991;刘和甫等,1994;贾东等,2003),且砾岩和砂岩的分布也证明了这一认识;②岩石薄片资料说明,须六段砂岩成分成熟度变低,表明物源区向东南方向推进,沉积物搬运距离缩短;③晚三叠世,沉积中心由西北向东南方向不断迁移,须二段位于白龙 1 井区,须四段-须五段迁至金 106E 井区,须六段则迁至威东 1 井东南地区,这也反映了周缘板块由西北向东南不断逆冲,盆地沉降中心迁移的过程(施振生等,2008)(图 6);④砂岩碎屑成分含量及其比值垂向演变图说明,须四段沉积之后,构造活动趋于平静(图 5),这反映了印支末期运动强度较弱;⑤须六段下部川西北部发育一套水上分支河道沉积,且纵向上水上分支河道沉积向东南不断迁移,这一方面反映了盆地周缘板块由西北向东南不断逆冲。另一方面,川西北部须四段以上均缺失水上沉积,根据沃尔索相律,可以推论其北部原始状态下发育水上沉积物,但后期遭受了抬升剥蚀(图 6)。

4 结论

(1)晚三叠世四川盆地发育 5 大物源,分布于龙门山北段-中段、大巴山、龙门山南段、盆地东南和盆地南部。早期,龙门山北段-中段、大巴山物源规模

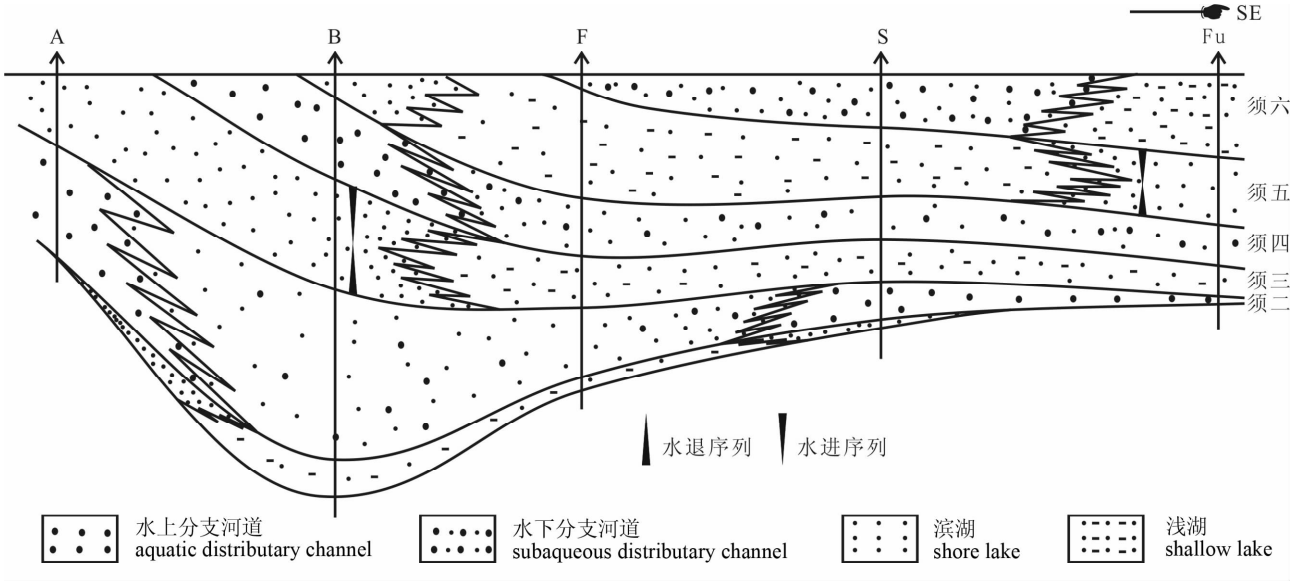


图 6 四川盆地上三叠统 A-Fu 井地层及沉积相对比剖面

Fig. 6 Section map showing distribution of stratigraphy and sedimentary facies of well A-Fu of the Upper Triassic in Sichuan Basin

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

较大,盆地东南和南部规模较小,晚期各方向规模大小一致,呈均衡分布格局,这与周缘板块构造活动的阶段性有关。

(2)上三叠统碎屑物源总体以“再旋回造山带”和“大陆板块”类型为主,其中,盆地西北部以“再旋回造山带”类型为主,而盆地东南部以“大陆板块”类型为主。“再旋回造山带”类型可细分“混合造山带”及“碰撞造山和褶皱冲断带”两种类型,龙门山北段和龙门山南段均以“混合造山带”及“碰撞造山和褶皱冲断带”类型为特征。

(3)晚三叠世,龙门山北段由西北向东南方向挤压,构造活动强度总体具有弱-强-弱的演变趋势。须二期,龙门山北段逆冲-推覆开始形成,并暴露水面遭受剥蚀,向盆地提供物源;须四期,龙门山北段进一步挤压抬升剥蚀,盆内沉积中心也由西北向东南迁移;须四期后,龙门山北段剥蚀区继续向东南推进,但构造活动强度渐趋和缓。

参　考　文　献

陈竹新,贾东,张惬,魏国齐,李本亮,魏东涛,沈杨. 2005. 龙门山前陆褶皱冲断带的平衡剖面分析. 地质学报,79(1):38～45.

邓康龄. 2007. 龙门山构造带印支期构造递进变形与变形时序. 石油与天然气地质,28(4):485～490.

郭正吾,邓康龄,韩永辉. 1966. 四川盆地形成与演化. 北京:地质出版社,72～94.

侯方浩,蒋裕强,方少仙. 2005. 四川盆地上三叠统香溪组二段和四段砂岩沉积模式. 石油学报, 26(2):30～37.

贾东,陈竹新,贾承造,魏国齐,李本亮,张惬,魏东涛,沈杨. 2003. 龙门山褶皱冲断带构造解析与川西前陆盆地的发育. 高校地质学报,9(3):462～469.

李忠,王道轩,林伟,王清晨. 2004. 库车坳陷中-新生界碎屑组分对物源类型及其构造属性的指示. 岩石学报,20(3):655～666.

刘和甫,梁慧社,蔡立国,沈飞. 1994. 川西龙门山冲断系构造样式与前陆盆地演化. 地质学报, 68(2): 100～117.

刘树根,罗志立,赵锡奎,徐国盛,王国芝,张成江. 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,童崇光,罗志立,戴苏兰,庞家黎,张国政,何军. 1995. 川西晚三叠世前陆盆地的形成与演化. 天然气工业,15(2):11～15.

刘树根,赵锡奎,罗志立,徐国盛,王国芝. 2001. 龙门山造山带—川西前陆盆地系统构造事件研究. 成都理工大学学报,28(3):221～230.

罗志立. 1991. 龙门山造山带岩石圈深化的动力学模式. 成都地质学院学报,18(1):1～17.

丘东洲,李学慧,朱德元. 1993. 四川盆地西北地区上三叠统沉积相及其与油气关系. 石油地质文集编辑委员会. 石油地质文集—沉积相. 北京:地质出版社,141～149.

施振生,杨威,金惠,沈珏红,朱秋影,刘满仓. 2008. 川中-川南地区上三叠统沉积相研究. 沉积学报,26(2):211～220.

施振生,杨威,金惠,朱秋影,刘满仓,郭长敏. 2008. 川中-川南地区上三叠统沉积相研究. 沉积学报,26(2):211～220.

王金琪. 1990. 安县构造运动. 石油与天然气地质,11(2):223～224.

王金琪. 2002. 川西坳陷须家河组(T3x)气藏再认识. 天然气工业,22(2):1～6.

王金琪. 2003. 龙门山印支运动主幂辨析——再论安县构造运动. 四川地质学报,23(2):65～69.

王宓君. 1987. 中国石油地质志(卷十). 北京:石油工业出版社, 67～69.

谢武仁,李熙喆,张满郎,李晓革,盛日正. 2008. 川中地区上三叠统须四段厚层砂体成因及油气运移通道分析. 石油学报,29(4):504～508.

许志琴,侯立玮,王宗秀. 1992. 中国松潘-甘孜造山带的造山过程. 北京:地质出版社,190.

杨逢清,殷鸿福,杨恒书,等. 1994. 松潘-甘孜地块与秦岭褶皱带、扬子地台的关系及其发展史. 地质学报,68(2):208～217.

张健,李国辉,谢继容. 2006. 四川盆地上三叠统划分对比研究. 天然气工业, 26(1):12～16.

张金亮,王宝清. 2000. 四川盆地中西部上三叠统沉积相. 西安石油学院学报(自然科学版),15(2):1～6.

郑荣才,朱如凯,翟文亮,高红烂,戴朝成,耿威. 2008. 川西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.

Burchfiel B C, Chen Zhiliang, Liu Yuping. 1995. Tectonics of the Longmen Shan and adjacent regions, central China. International Geology Review,37:661～735.

Chen Zhuxin, Jia Dong, Zhang Qie, Wei Guoqi, Li Benliang, Wei Dongtao, Shen Yang. 2005. Balanced cross-section analysis of the fold-thrust belt of the Longmen Mountains. Acta Geologica Sinica,79(1):38～45.

Deng Kangling. 2007. Indosinian progressive deformation and its chronogenesis in Longmengshan structural belt. Oil and Gas Geogoly,28(4):485～490.

Dickinson W R, Suczek C A. 1979. Plate tectonics and sandstone compositions. AAPG Bulletin,63(12):2164～2182.

Dickenson W R. 1988. Provenance and sediment dispersal in relation to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basins. In: Kleinspeshn K L and Paola C(eds.)New Perspectives in Basin Analysis. Speringer-Verlag,3～26.

Hendrix M S, Graham S A, Amory J Y, Badarch G. 1996. Noyon Uul (King Mountain) Syncline, southern Mongolia: early Mesozoic sedimentary record of the tectonic amalgamation of central Asia. Geological Society of America Bulletin,108:1256～1274.

Hou Fang-Hao, Jiang Yu-Qiang, Fang Shao-Xian. 2005. Sedimentary model of sandstone in second and fourth members of Xiangxi Formation in the Upper Triassic of Sichuan Basin. Acta Petrolei Sinica,26(2):30～37(in Chinese with English abstract).

Ingersoll R V, Kretchmer A G, Valler P K. 1993. The effects of sampling scale on actualistic sandstone petrofacies. Sedimentology,40:937～953.

Ingersoll R V. 1990. Actualistic sandstone petrofacies:discriminating modern and ancient source rocks. Geology,18:733～766.

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

Jia Dong, Chen Zhuxin, Jia Chengzao, Wei Guoqi, Li Benliang, Zhang Qie, Wei Dongtao, Shen Yang. 2003. Structural features of the LongmenShan fold and thrust belt and the western Sichuan foreland basin, central China. Geological Journal of China Universities, 9 (3): 462 ~ 469 (in Chinese with English abstract).

Luo Zhili. 1991. The dynamical model of the lithospheric evolution in Longmen Shan orogenic belt. Journal of Chengdu College of Geology, 18 (1): 1~7(in Chinese with English abstract).

Li Zhong, Wang Daoxuan, Lin Wei and Wang Qingchen. 2004. Mesozoic-Cenozoic clastic composition in Kuqa depression, northwest China: implication for provenance types and tectonic attributes. Acta Petrologica Sinica, 20(3): 655~666.

Liu Hefu, Liang Huishe, Cai Liguo, Shen Fei. 1994. Structural systems of The Longmenshan thrust belt and evolution of the foreland basin in western Sichuan Province, China. Acta Geologica Sinica, 68(2): 100 ~ 117 (in Chinese with English abstract).

Liu Shugen, Luo Zhili, Zhao Xikui, Xu Guosheng, Wang Guozhi, Zhang Chengjiang. 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 Geologica Sinica, 77(2): 177~186.

Liu Shugen, Tong Chongguang, Luo Zhili, Dai Sulan, Pang Jiali, Zhang Guozheng, He Jun. 1995. The formation and evolution of late Triassic West Sichuan Foreland Basin. Natural Gas Industry, 15(2): 11~15.

Liu Shugen, Zhao Xikui, Luo Zhili, Xu Guosheng, Wang Guozhi. 2001. Study on the tectonic events in the system of the Longmen Mountain—West Sichuan foreland basin, China. Journal of Chendu University of Technology, 28(3): 221~230.

Liu Shaofeng, Ronald Steel, Zhang Guowei. 2005. Mesozoic sedimentary basin development and tectonic implication, northern Yangtze block, eastern China: record of continent-continent collision. Journal of Asian Earth Sciences, 25: 9~27.

Mattauer M, Matte Ph, Malavieille J, Tapponnier P, Maluski H, Xu ZQ, Lu Yi L, Tang Y Q. 1995. Tectonics of the Qinling belt: Build-up and evolution of eastern Asia. Nature, 317: 495~500.

Morton A C. 1985. A new approach to provenance studies-electron microprobe analysis of detrital garnets from Middle Jurassic sandstones of the northern North Sea. Sedimentology, 32: 553~566.

Meng Qingren, Wang Erchie, Hu Jianmin. 2005. Mesozoic sedimentary evolution of the northwest Sichuan basin: implication for continued clockwise rotation of the South China block. GSA Bulletion, 17(3): 396~410.

Pettijohn F J, Potter P E, Siever R. 1987. Sand and sandstone(second edition). New York: Spronger-Verlag, 553.

Shi Zhensheng, Yang Wei, Jin Hui, Zhu Qiuuing, Liu Mancang, Guo Changmin. 2008. Study on sedimentary facies of the Upper Triassic in Central and South Sichuan province. Acta Sedimentologica Sinica, 26(2): 211~220.

Wang Bijun. 1987. Petroleum geology of China (Vol. 10). Beijing: Petroleum Industry Press, 67~69.

Wang Jinqi. 1990. Anxian tectonic movement. Oil and Gas Geology, 11(2): 223~224.

Wang Jinqi. 2002. Recognition of Xujiahe Formation (T_3 x) gas reservoirs in West Sichuan Depression. Natural Gas Industry, 23 (2): 65~69.

Wang Jinqi. 2003. Recognition on the main episode of Indo-China movement in the Longmen mountains-A review on the Anxian tectonic movement. Acta Geologica Sichuan, 23(2): 65~69.

Xie Wuren, Li Xizhe, Zhang Manlang, Li Xiaoge, Sheng Rizheng. 2008. Thick-bed body genesis and oil-gas migration pathway in the forth member of Xujiahe Formation of Upper Triassic in the central Sichuan Basin. Acta Petrolei Sinica, 29(4): 504~508.

Zhang Jian, Li Guo-Hui, Xie Ji-Rong. 2006. Stratigraphic division and correlation of Upper Triassic in Sichuan Basin. Natural Gas Industry, 26(1): 12~16(in Chinese with English abstract).

Zhang Jinliang, Wang Baoqing. 2000. Sedimentary facies of Upper Triassic in western Sichuan Basin. Journal of Xi'an Petroleum Institute(Natural Science Edition), 15(2): 1~6.

Zheng Rongcai, Zhu Rukai, Zhai Wenliang, Gao Hongcan, Dai Chaocheng, Geng Wei. 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).

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

Upper Triassic Clastic Composition in Sichuan Basin, Southwest China: Implication for Provenance Analysis and the Indosinian Orogeny

SHI Zhensheng, YANG Wei, XIE Zengye, JIN Hui, XIE Wuren

Langfang Branch of Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Petrochina, Langfang, Hebe, 065007

Abstract

Analysis of depositional provenances is an important approach to understand the history of basin-range evolution. Mineral compositions of Upper Triassic conglomerate clasts and sandstone framework grains and heavy minerals in Sichuan Basin suggest five depositional provenances, which are distributed around the north-central Longmenshan, south Dabashan, south Longmenshan, southeastern and southern Basin. The clastic depositional provenances are dominated by the recycled orogen zone and continental plate type, with the former in the middle, north, and south Longmenshan, and the latter in the south-east and the south Sichuan Basin. The recycled orogen can be subdivided into two types: mixed orogenic belt, and collision orogen and fold thrusting fault belt, with both occurring in north and south Longmenshan. The distribution of depositional provenances displays different stages. In the early stage, depositional provenances were distributed dominantly in the middle-south part of Longmenshan and Dabashan, with limited deposits from the south-east and south Sichuan Basin. In the late stage, the south-east and south Sichuan Basin provided much sediment increasingly, leading to balanced distribution of depositional provenances, and this may be related to periodic tectonic activities of circumferential plate. During Late Triassic, the north Longmenshan experienced an NW—SE compression and intensity of tectonic activities also experienced a change trend from weak and then strong to weak. During the member 2 sedimentary period of Upper Triassic, Longmenshan area began thrusting and overlapping, and then denuded after exposing groundwater, which provided substantive sediments to Sichuan Basin. The member 4 sedimentary period of Upper Triassic was characterized by intensive tectonic activity, which resulted in further compression-lifting-denudation of north Longmenshan. The depocenter of the basin migrated from northwest to southeast basin. Afterwards, the denudation of north Longmenshan advanced from NW to SE basin continually, but tectonic intensity was weakening gradually.

Key words: Sichuan Basin; Upper Triassic; clastic composition; provenances analysis; Indosinian orogeny