

# 川西中段地区砂岩碎屑组分变化记录的沉积转型事件

钱利军 张成弓 陈洪德 林良彪 徐胜林 欧莉华 张玺华

(成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059)

**摘要:**砂岩作为山脉隆升过程中在盆地内的直接记录,其碎屑组分在分析造山带及沉积物源区构造背景等方面具有较好的效果。本文应用砂岩碎屑组分特征对比、单井碎屑组分垂向演化特征、Dickinson 图解及砂岩的成分成熟度  $Q/(F+L)$  与  $F/L$  的演变特征四种方法,对川西中段地区侏罗系进行了系统的研究。结果表明:(1)根据砂岩碎屑组分的空间分布特征分析,认为研究区中侏罗世沙溪庙组受到了来自西部龙门山造山带和北部米仓山—大巴山造山带的复合造山运动的共同影响;(2)通过对川西地区单井碎屑组分垂向对比及砂岩成分成熟度分析,发现在千佛崖组与沙溪庙组界线附近,沉积物源发生了明显的变化,暗示川西地区此时发生了一次重要的沉积转型事件,这与米仓山—大巴山的构造演化密切相关。(3)砂岩碎屑组分的变化反应盆地周缘造山带的活动:早侏罗世—中侏罗世早期,构造相对稳定,砂岩成分成熟度高;中侏罗世中晚期,在米仓山—大巴山逆冲推覆作用的影响下,砂岩成分成熟度低,且具有火山岩屑增多的特征;晚侏罗世早期,构造相对稳定,砂岩成分成熟度增高,至晚侏罗世晚期川西地区主要受龙门山造山带的影响,其砂岩特征与龙门山前缘砂岩特征趋于一致。

**关键词:**川西中段;侏罗纪;砂岩碎屑组分;构造演化

**中图分类号:**P588.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)02-0517-12

造山带与沉积盆地是形成于统一的地球动力学系统之中的一对孪生体,在空间上相互依存,在物质上相互转换,且受控于统一的地球深部动力学机制<sup>[1]</sup>。而作为造山带隆升过程中在盆地内的直接记录,砂岩的碎屑组分在分析造山带与沉积盆地耦合关系中得到了广泛的应用。近年来,国内有大量学者在柴达木盆地<sup>[2]</sup>,天山盆地<sup>[3-4]</sup>,合肥盆地<sup>[5]</sup>,华北地区<sup>[6]</sup>等应用砂岩碎屑组分的特征研究盆地与造山带的关系,并取得了较好的效果。

四川盆地是一个构造复合改造型克拉通盆地,经历了多期次、不同性质的构造变动事件<sup>[7]</sup>。川西前陆盆地是由扬子板块与西部特提斯构造域中松潘—甘孜地块间的碰撞所形成<sup>[8-9]</sup>。川西地区在龙门山、米仓山和大巴山的复合造山作用的影响下(图 1),

受到多期次逆冲推覆的影响,呈现出多期次演化的特征。自晚三叠世之后,由前陆盆地转换为陆内坳陷盆地<sup>[10]</sup>。早、中侏罗世,由于龙门山地区逆冲构造作用的减弱,川西地区进入相对稳定的剥蚀隆升作用为主的休眠状态<sup>[11]</sup>,而米仓山—大巴山地区因受到秦岭造山带自北东向南西推进、挤压和构造侵位的影响,进入构造活动持续增强,具有 C 型俯冲性质的逆冲推覆构造活动期<sup>[12-14]</sup>。此时龙门山逆冲推覆减弱,而米仓山—大巴山逆冲推覆增强的构造主应力作用方位发生转移,不仅促使前陆盆地的山前坳陷发育位置由位于龙门山前缘的川西地区向位于米仓山—大巴山前缘的川北和川东北地区迁移,从而进入以米仓山—大巴山逆冲推覆作用为主的前陆盆地演化阶段<sup>[12-13]</sup>。这一重要的构造转型时期对于盆

收稿日期:2012-07-26;改回日期:2013-01-21

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(40739901)和国家科技重大专项项目(2011ZX05002-004-006HZ)资助。

作者简介:钱利军,男,1985年生,博士生,研究方向:沉积学;E-mail:qj0321@163.com。

通讯作者:张成弓,男,1984年生,博士生,主要从事沉积地质学研究;E-mail:batistutaqqg@163.com。

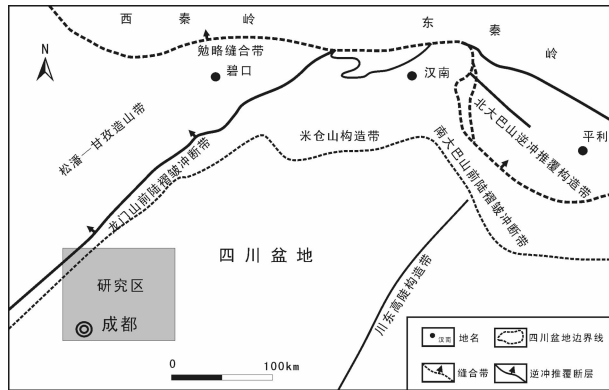


图1 秦—川地区大地构造简图(据文献[15]修改)

Fig.1 Simplified tectonic map of Qinling-Sichuan region (modified after Reference [15])

地内沉积物的充填特征及类型都具有较大的影响。

虽然前人对川西地区侏罗系进行了大量的研究,取得了丰富的成果<sup>[7,16-20]</sup>,但对于来自米仓山—大巴山逆冲推覆的碎屑物质对川西地区的影响,以及川西地区侏罗系砂岩碎屑组分特征的时空演化响应的米仓山—大巴山逆冲推覆构造的演化过程,前人对此研究较少。因此,本文以川西中段地区侏罗系砂岩为研究对象,重点通过砂岩碎屑组分特征对比、单井碎屑组分垂向演化特征、Dickinson 图解及砂岩的成分成熟度  $Q/(F+L)$  与  $F/L$  的演变特征四种方法,深入探讨川西地区与龙门山及米仓山—大巴山之间的盆山关系。

## 1 区域地质概况

川西地区位于安县—绵阳以南,大邑—龙泉驿以北,西起龙门山前缘,东至丰谷、中江一线。由西北向东南依次为龙门山褶皱带、龙门山前缘推覆带、安县—鸭子河—大邑断褶带、孝泉—丰谷构造带以及成都凹陷,东南段为知新场—龙宝梁断褶带<sup>[21]</sup>。研究区属于扬子地台西缘,位于龙门山逆冲推覆构造带前缘,北临米仓山—大巴山山脉。侏罗系主要为一套连续的陆相沉积,自下而上主要发育白田坝组、千佛崖组、沙溪庙组、遂宁组及蓬莱镇组(图2),底部早侏罗世白田坝组与下伏晚三叠世须家河组呈角度不整合接触,顶部与白垩系苍溪组砾岩呈平行不整合接触。

早侏罗世早期,即白田坝组沉积早期,由于龙门山、米仓山—大巴山的隆升,山前发育一系列冲积扇

沉积,其后趋于稳定,于冲积扇之上沉积了一套滨湖沼泽相泥岩夹煤层,富含介壳类化石<sup>[1,22]</sup>。中侏罗世早期千佛崖组沉积期大体上继承了早侏罗世的沉积格局<sup>[17,23]</sup>。中侏罗世中、晚期,即沙溪庙组沉积期,由于四川盆地北部的强烈隆起,沉积格局有较大变化,以河流、三角洲相、湖泊相沉积的砂、泥岩互层组合为主,缺少大面积较长时期的湖相沉积<sup>[10,17,22-23]</sup>。晚侏罗世遂宁组沉积期,区域内趋于稳定,川西地区经历了一次广泛的湖侵期,除龙门山前缘有少量粗碎屑沉积,其余地区以滨浅湖相沉积为主<sup>[10]</sup>。晚侏罗世晚期,即蓬莱镇组沉积期,由于龙门山强烈隆升<sup>[7]</sup>,在龙门山前缘地区发育多个巨厚的冲积扇沉积,向东为三角洲—湖泊沉积,盆地北部为河流—三角洲沉积<sup>[23]</sup>。

## 2 采样位置与研究方法

本次研究砂岩样品分别采自四川盆地西缘地区白田坝组、千佛崖组、沙溪庙组、遂宁组及蓬莱镇组,主要为分布于孝泉、鸭子河、中江、金马场等地区的钻井岩心(图3)。岩性主要为细—中粒岩屑砂岩、岩屑石英砂岩等。样品的统计首先兼顾各组都有一定数量的样品,并在碎屑组分变化剧烈的沙溪庙组加密采样,共482件。砂岩样品主要通过普通偏光显微镜进行碎屑组分的鉴定,采用碎屑成分统计点计法,每个薄片统计点大于300个,在薄片统计过程中将颗粒碎屑组分换算成百分比。

## 3 砂岩碎屑组分的变化

### 3.1 砂岩碎屑组分特征

白田坝组以石英砂岩、岩屑石英砂岩为主,个别样品为岩屑砂岩,普遍具有较高的石英含量,一般为45%~92%,平均为53.6%;长石含量普遍很低,均在5%以下;岩屑含量4%~85%,平均为41.7%,个别岩屑砂岩样品的岩屑含量较高,最高可达85%。岩屑组分多以沉积岩岩屑为主,其次为少量的变质岩岩屑,火山岩岩屑较少。

千佛崖组以岩屑石英砂岩为主,石英含量普遍较高,为59%~97%,平均为74.8%;长石几乎在样品薄片中没有发现;岩屑含量3%~41%,平均24.9%。其中岩屑以沉积岩岩屑为主,由泥岩、粉砂岩岩屑组成;其次为少量的变质岩岩屑,主要为千枚岩、石英岩岩屑;火山岩岩屑较少,含量较低,一般不超过岩石总量的5%。

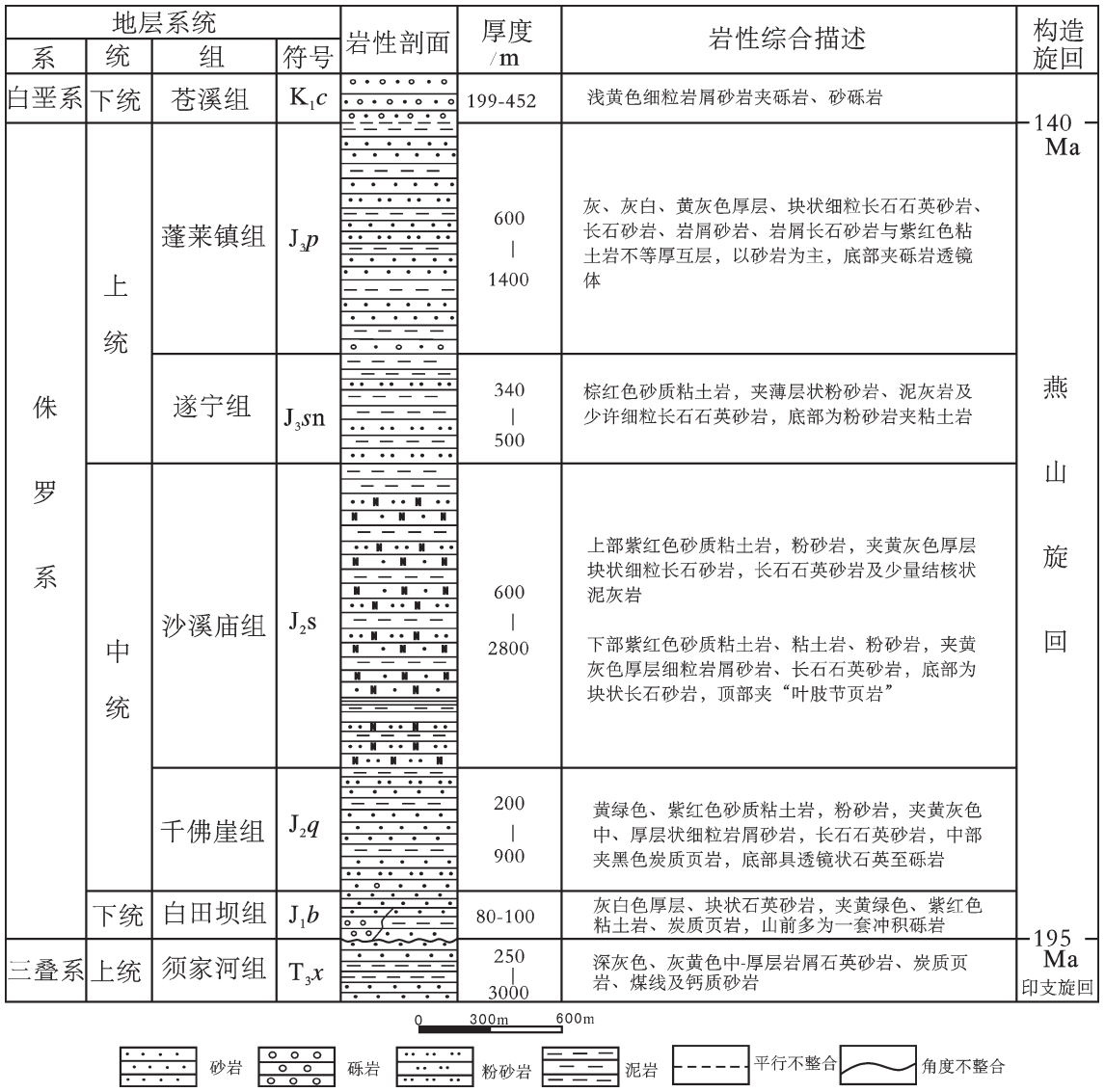


图 2 川西地区侏罗系地层划分(据文献[24]有改)

Fig.2 The division of Jurassic strata in western Sichuan Basin (modified after Reference [24])

沙溪庙组以岩屑砂岩及岩屑石英砂岩、长石砂岩为主。石英含量变化幅度较大，为 27%~93%，平均为 55.1%；长石含量特征与石英相似，变化幅度较大，0%~55%，平均为 24.5%；岩屑含量 7%~68%，平均为 20.5%。整体呈现出西部的龙门山前缘地区富石英，贫长石，而其他地区则以富长石、贫石英为主的特征(图 4)。其中岩屑与白田坝组、千佛崖组相似，具有以沉积岩岩屑、变质岩岩屑为主的特征，但沙溪庙组的火山岩岩屑较下伏两个组有明显的增加。

遂宁组以岩屑石英砂岩为主，少量的长石石英砂岩。石英含量一般占岩石总量的 40%~85%，平均为 64.2%；长石含量较沙溪庙组低，一般为 0~20%，

平均为 5.7%；岩屑含量 10%~58%，平均为 30.1%，岩屑类型同白田坝组、千佛崖组、沙溪庙组的相似。遂宁组碎屑组分特征同沙溪组相似，龙门山前缘地区富石英，贫长石，而其他地区富长石、贫石英，但遂宁组的这一特征与沙溪庙组相比，有弱化的趋势。

蓬莱镇组以岩屑石英砂岩为主，少量岩屑砂岩、长石石英砂岩。石英含量 12%~82%，平均为 60.7%；长石含量同遂宁组相似，为 0%~25%，平均值为 6.4%；岩屑含量 8%~88%，平均值为 32.9%。岩屑类型同整个侏罗系相同，以沉积岩岩屑为主，其次为变质岩岩屑，含少量的火山岩岩屑。该时期与沙溪庙期、遂宁砂岩骨架成分不同，所有样品均表现为富石英、

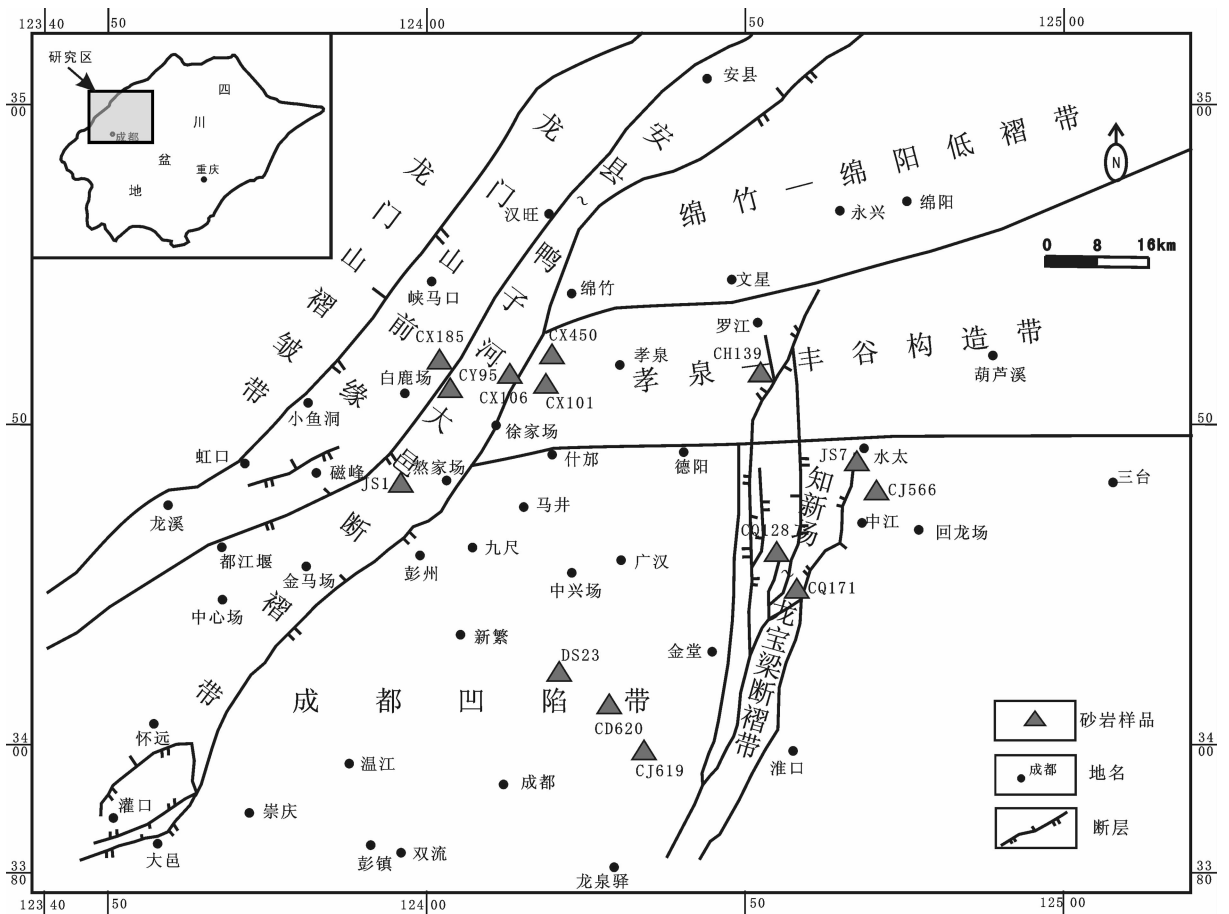


图3 采样位置分布(据文献[25]修改)

Fig.3 The distribution of sampling sites(modified after Reference [25])

贫长石、沉积岩岩屑发育,且具有自龙门山山前至盆地石英含量逐渐增多、岩屑含量逐渐减小的特征。

根据对研究区整个侏罗系的样品薄片的统计分析(表1),发现下侏罗统白田坝组、千佛崖组砂岩具有相似的特征,以岩屑石英砂岩为主,普遍具有高石英的特征。中侏罗统沙溪庙组之后岩石类型发生了变化,整体呈现出龙门山前缘地区富石英、贫长石,而其他地区富长石、贫石英的特征,之后上侏罗统遂宁组这种特征具有弱化的趋势,至蓬莱镇组所有样品均表现为富石英、贫长石,且沉积岩岩屑发育。

### 3.2 砂岩碎屑组分垂向变化特征

以CQ171井为例,将单晶石英,长石,以及沉积岩岩屑、火山岩岩屑、变质岩岩屑含量进行垂向对比(图5)可以看出:中、下侏罗统白田坝组、千佛崖组石英含量较高,几乎没有长石,沉积岩岩屑含量相对较高,而火山岩岩屑及变质岩岩屑含量较低;至中侏罗统沙溪庙组石英含量明显降低,长石含量增加幅

度较大,沉积岩岩屑虽然在界线上下有所增加,但整体具有逐渐减少的特征,火山岩岩屑和变质岩岩屑含量明显增加;至沙溪庙组晚期石英含量逐渐增多,长石含量有所减少,沉积岩岩屑逐渐增加,而火山岩岩屑及变质岩岩屑含量至最高;至上侏罗统遂宁组、蓬莱镇组石英含量增加,长石含量逐渐减少,但与白田坝组、千佛崖组相比较石英含量较低,长石含量较高,沉积岩岩屑保持稳定,与之前沙溪庙组晚期较相似,而火山岩岩屑及变质岩岩屑逐渐减少。因此,根据CQ171井各组碎屑含量的变化可以判断在千佛崖组与沙溪庙组界线附近沉积物源发生了明显的变化,说明川西地区在早、中侏罗世之交发生了一次重要的沉积转型,这可能与研究区北部的米仓山—大巴山的构造演化密切相关。

### 3.3 砂岩碎屑组分所指示的构造意义

构造活动是盆地沉积碎屑充填的主要因素,应用砂岩碎屑组分分析可以较好地判断物源区的构造

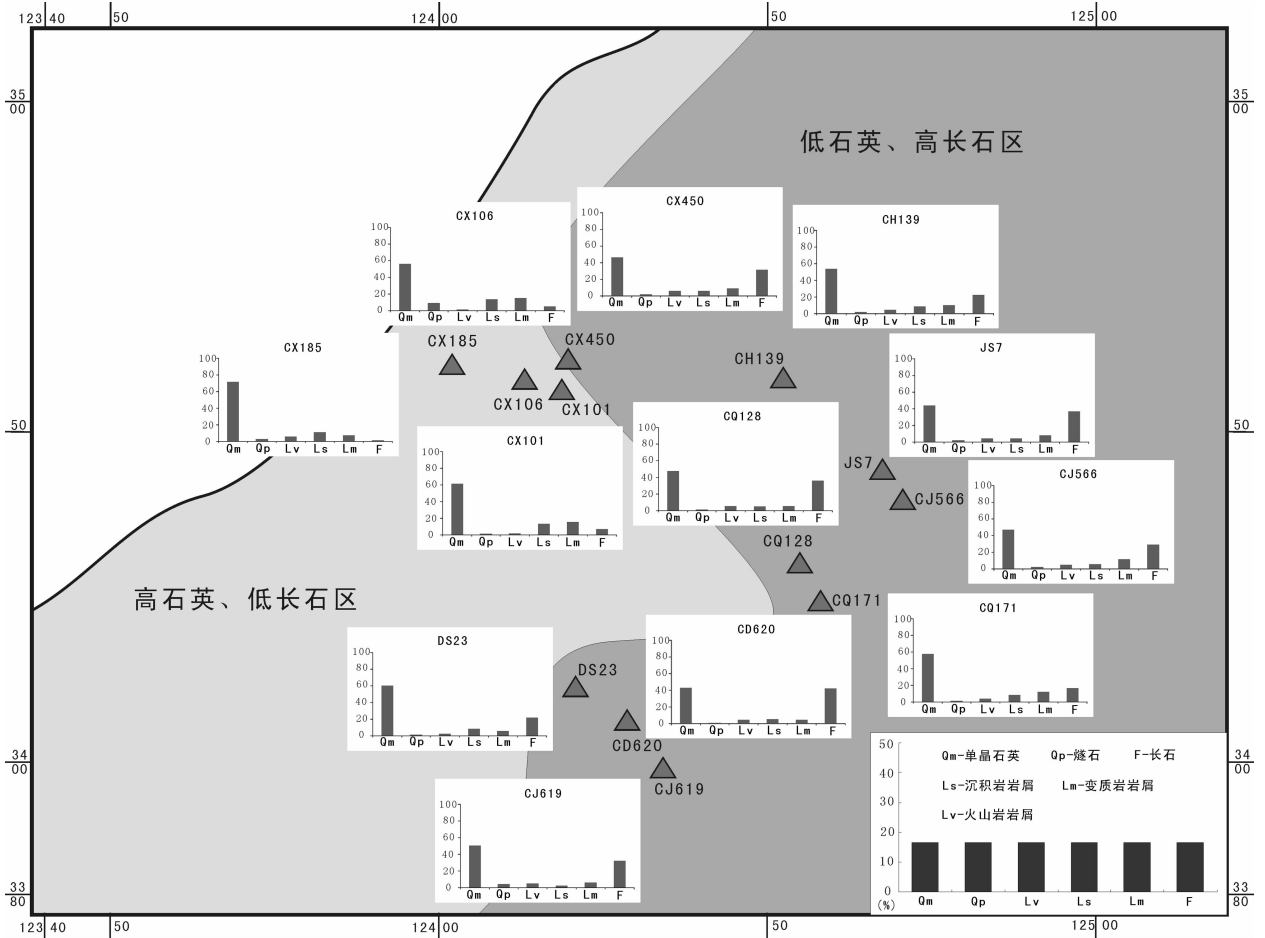


图 4 沙溪庙组砂岩类型分区图

Fig.4 The zoning of sandstone types in Shaximiao Formation

表 1 侏罗系砂岩碎屑组分统计

Table 1 Detrital composition of Jurassic sandstones

地层	蓬莱镇组		遂宁组		沙溪庙组		千佛崖组		白田坝组	
样品数/件	109		69		249		30		25	
	范围值	平均值	范围值	平均值	范围值	平均值	范围值	平均值	范围值	平均值
单晶石英 / %	10~80	59	35~83	62.1	24~90	52.7	55~91	71.7	5~92	53.6
燧石 / %	0~8	1.6	0~7	2.1	0~20	2.4	0~6	3	0~20	3.4
石英总和 / %	60.6		64.2		55.1		74.8		57	
长石 / %	0~25	6.4	0~20	5.7	00~55	24.5	0~6	0.3	0~3	1.3
火成岩岩屑 / %	0~5	1	0~6	1.5	0~25	4.4	0~7	2.4	0~10	0.5
沉积岩岩屑 / %	4~75	24.9	7~40	16.7	0~33	7.3	0~26	16.8	4~85	34.7
变质岩岩屑 / %	0~20	7	1~26	11.8	2~35	8.8	0~15	5.7	1~20	6.5
岩屑总和 / %	32.9		30.1		20.5		24.9		41.7	

背景<sup>[26]</sup>。Dickinson 总结不同构造背景下砂岩的岩石学组成所提出的 Dickinson 三角图解<sup>[26-27]</sup>在沉积岩的物源研究中得到了广泛的应用<sup>[3,5,6]</sup>。本文利用 Dickinson 的 Qm-F-Lt、Qp-Lv-Ls 图解对研究区

侏罗系物源区的构造背景进行详细的研究。

研究区侏罗系砂岩样品 Dickinson 三角图解(图 6)显示：下侏罗统白田坝组、千佛崖组砂岩样品主要落在石英再旋回造山带区域内，属于碰撞缝合

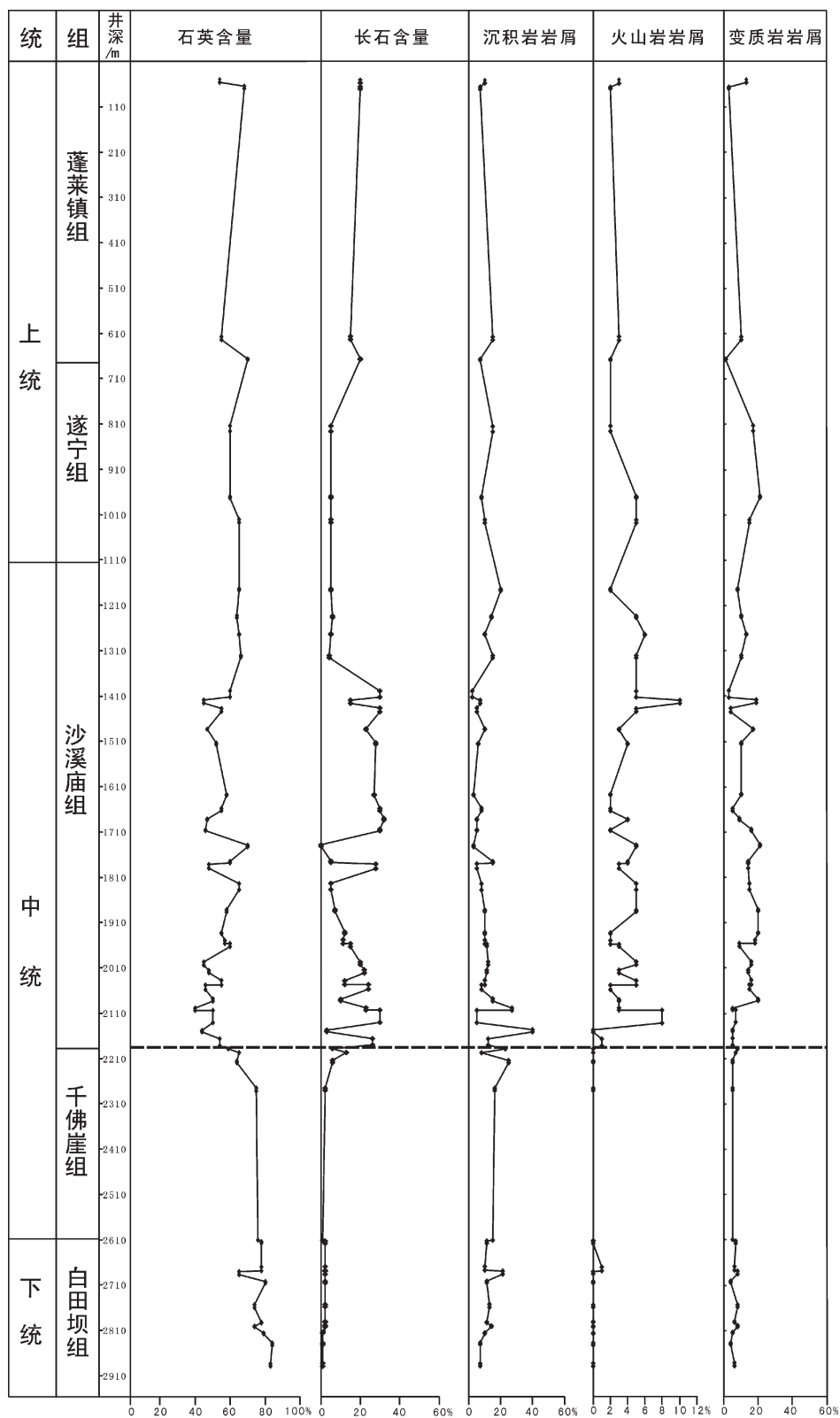


图5 CQ171井矿物碎屑及岩屑含量垂向变化图

Fig.5 Vertical changes of mineral fragments and lithic rocks in CQ171

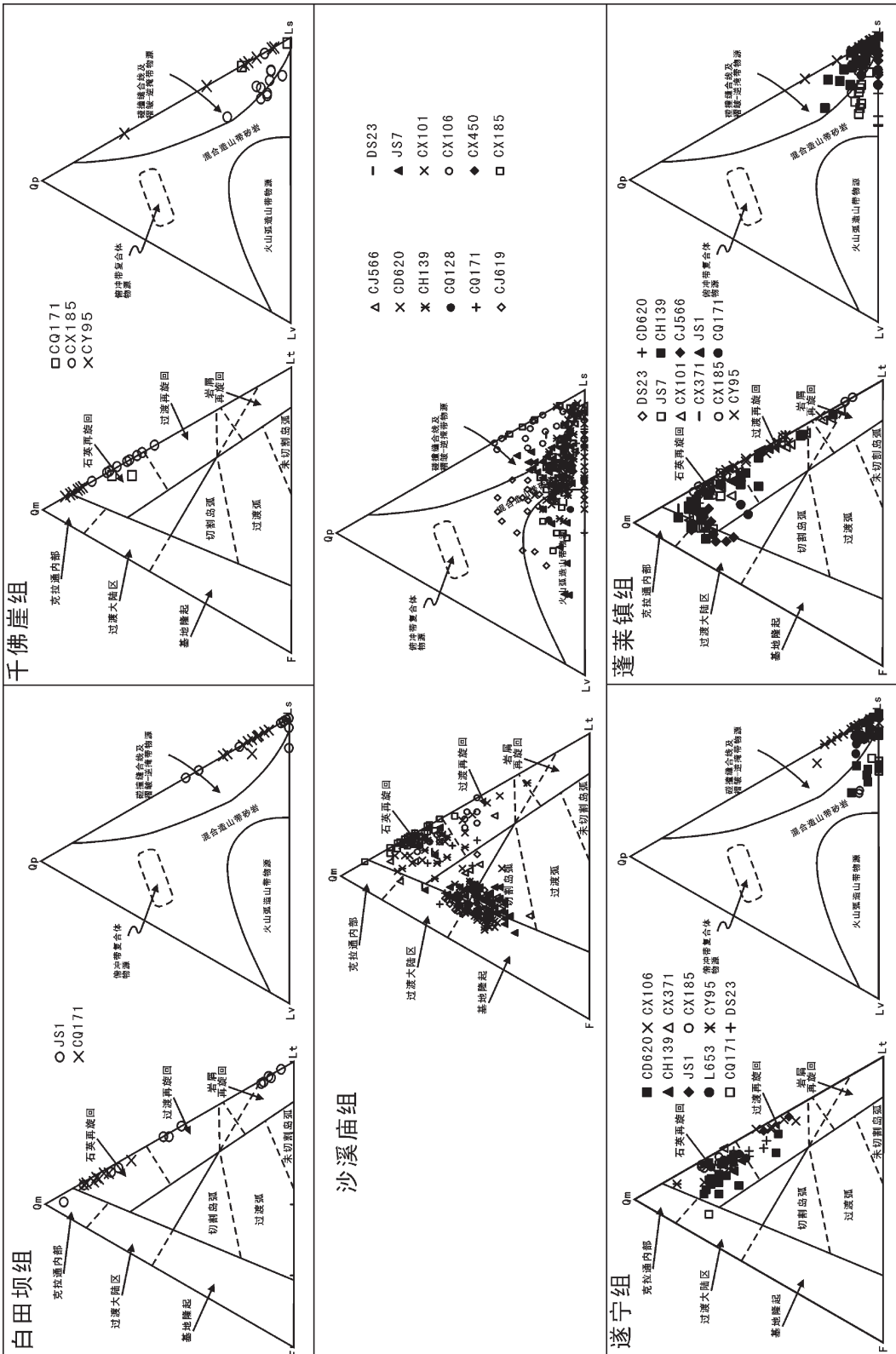


图 6 砂岩碎屑成分与物源类型三角图解 (据文献[26-27])

Qm—单晶石英; Qp—燧石; F—长石; Lv—火成岩屑; Ls—多晶石英岩屑; Lt—多晶石英岩屑(L岩屑+Qp)

Fig.6 Triangle diagram showing detrital components of sandstone and their provenance types (after Reference [26-27])

线及褶皱—逆演带物质,唯有千佛崖组个别样品落在了过渡再旋回的区域内,属于混合造山带物质。至中侏罗统沙溪庙组砂岩样品主要落在了切割岛弧、基底隆起、过渡大陆与石英再旋回、过渡再旋回两个主要的区域内,属于碰撞缝合线及褶皱—逆演带与混合造山带物质,显示多物源特征;上侏罗统遂宁组、蓬莱镇组砂岩样品主要落在石英再旋回及过渡再旋回的区域内,属于碰撞缝合线及褶皱—逆演带物质,少数属于混合造山带物质。整体观察发现,研究区自下而上唯有沙溪庙组砂岩的构造背景与其他各组有较大的区别,而沙溪庙组沉积之后的遂宁组及蓬莱镇组具有继承性的发育,但这种具有切割岛弧、基底隆起构造背景且属于混合造山带的砂岩样品逐渐减少。

砂岩的成分成熟度  $Q/(F+L)$  与  $F/L$  的演变可以反映盆地构造、沉积及演化。根据 CQ171 井砂岩成分成熟度  $Q/(F+L)$  总的趋势(图 7)可看出,白田坝组、千佛崖组砂岩成熟度高,沙溪庙组砂岩成熟度最低,遂宁组、蓬莱镇组砂岩成熟度逐渐增高。这说明白田坝组、千佛崖组沉积物搬运较长距离,反映了此时的造山运动并不是太强烈,至少影响范围较小;沙溪庙组砂岩成熟度最低,说明盆缘的造山运动引起了沉积碎屑供给增大,快速搬运堆积;遂宁组、蓬莱镇组砂岩成熟度相对升高,显示了造山运动后填平补齐的沉积过程。 $F/L$  值的演变趋势指示了在大陆分化—沉积旋回侵蚀深度的变化规律。CQ171 井砂岩  $F/L$  值总体呈现出低—高—低的趋势,即白田坝组、千佛崖组砂岩  $F/L$  值较低,至沙溪庙组逐渐变高,遂宁组、蓬莱镇组变低。说明沙溪庙期盆缘山系的造山运动最为强烈,这与砂岩成分成熟度  $Q/(F+L)$  的特征一致。

## 4 讨论

四川盆地北缘的秦岭造山带在印支期属于洋陆俯冲与陆陆碰撞并存,且逐渐由洋陆俯冲转变为陆陆碰撞体制<sup>[28]</sup>;至燕山期,以陆陆碰撞造山为主<sup>[29]</sup>,并伴有强烈的花岗岩侵入活动<sup>[30]</sup>。对大巴山地表样品磷灰石裂变径迹的热史反演和川东北地区单井的沉降—隆升史的分析,认为真正意义上的川东北前陆盆地的形成是在中侏罗世沙溪庙期<sup>[13]</sup>。同时对砂岩中碎屑锆石进行了 U—Pb 同位素分析,认为早—中侏罗世南秦岭发生较强烈的构造抬升,导致更古

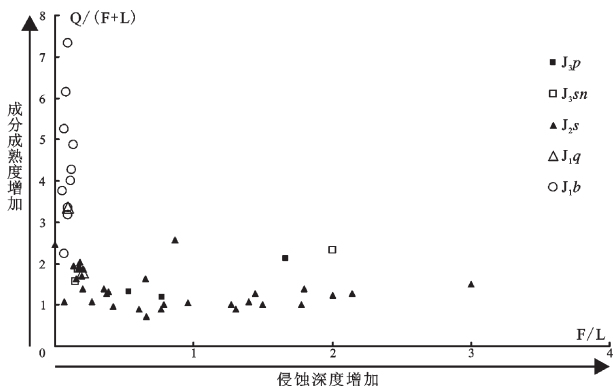


图 7 CQ171 井侏罗系砂岩  $Q/(F+L)$  与  $F/L$  关系  
Fig.7 Dispersed dot plot showing the relationship between  $Q/(F+L)$  and  $F/L$  of CQ171

老的岩石遭受抬升剥蚀<sup>[31]</sup>。有学者认为中侏罗世早期四川盆地的沉降中心处于盆地北部的广元—巴中—万县一带,呈东西向展布,沉积厚度呈现出东厚西薄的特点<sup>[12]</sup>(图 8)。根据前人的研究成果可以发现中侏罗世沙溪庙期的这一幕运动规模及强度都较大,是改变川东北地区构造格局的一次重要转型时期。在其强烈的影响下,川东北地区发生强烈的构造沉降,并伴有沙溪庙组巨厚红层的沉积。与须家河组砂岩相比,碎屑组分发生了明显的变化,其中长石、火山岩岩屑含量明显增加<sup>[32-33]</sup>。与此同时川西龙门山地区的逆冲推覆活动减弱,处于以相对稳定的剥蚀隆升作用为主的休眠状态<sup>[11]</sup>,其为盆地提供的物质继承晚三叠世须家河组砂岩特征,砂岩碎屑组分以高石英、贫长石为主,且火山岩岩屑较少<sup>[34]</sup>。笔者根据对川西中段地区侏罗系砂岩的研究,发现研究区西南部的大部分山前地区中侏罗统沙溪庙组砂岩具有富石英、贫长石的特征,这可能与研究区西部的龙门山造山带有关;而研究区内东北部的大部分地区砂岩具有贫石英、富长石的特征,岩屑以火山岩、沉积岩岩屑为主,且火山岩岩屑呈逐渐增加的趋势,这与川东北地区沙溪庙组砂岩碎屑组分具有相似的特征(图 8)。根据对研究区沙溪庙组砂岩的碎屑组分 Dickinson 图解的投点可以看出此时的砂岩具有碰撞缝合线及褶皱—逆演带与混合造山带的特征,这可以说明研究区沙溪庙组沉积期具有明显的多物源特征,部分来自西部的龙门山造山带,而大部分则来自北部的米仓山—大巴山造山带。因此,由以上特征同时可以说明来自米仓山—大巴山的碎屑物质影



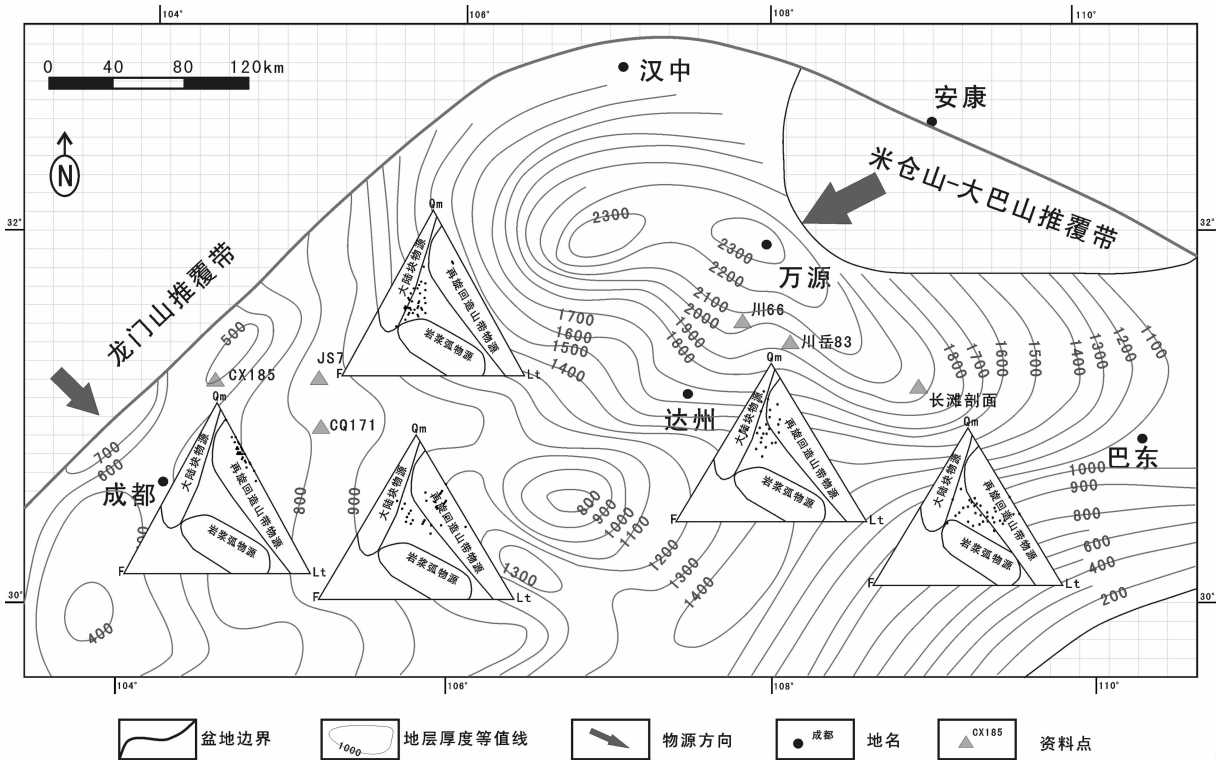


图 8 四川盆地侏罗系砂岩碎屑组分分布图

Qm—单晶石英;F—长石;Lt—岩屑+燧石

(注:川 66、川岳 83 井资料据文献[12];长滩剖面资料据文献[32];底图据文献[10]修改)

Fig.8 The detrital composition of Jurassic sandstones in Sichuan basin

响范围已不仅限于川东北地区，其影响范围已扩大至川西中段地区。

通过对川西地区侏罗纪砂岩碎屑组分变化的研究,至少可以将龙门山、米仓山—大巴山逆冲推覆运动对研究区的影响划分为 4 个阶段。早侏罗世—中侏罗世早期,即白田坝组—千佛崖组沉积期,盆地周缘相对较稳定,盆地范围扩大,以湖泊相沉积为主,此时的研究区主要受到来自盆地西部的龙门山造山带的影响。中侏罗世中晚期,即沙溪庙组沉积期,随着米仓山—大巴山逆冲推覆运动的活跃,盆地萎缩,沉积厚度增大,以河流相、三角洲相沉积为主,此时的研究区受到了来自盆地北部米仓山—大巴山造山带与盆地西部龙门山的复合造山运动的共同影响;由于该时期是米仓山—大巴山逆冲推覆运动的最强时期,强烈的逆冲推覆作用,导致物源区地层不断抬升,逐层剥蚀至老地层,在研究区主要表现为砂岩碎屑组分发生明显的变化,石英含量减少,长石含量增多,火山岩岩屑逐渐增加,成分成熟度为整个侏罗系最低。晚侏罗世早期,即遂宁组沉积期,米仓山—大巴

山逆冲推覆运动变的平静下来,盆地范围有所扩大,以湖泊相沉积为主,此时的研究区几乎没有受到来自米仓山—大巴山逆冲推覆运动的影响,以受到龙门山造山带的影响为主。晚侏罗世晚期,即蓬莱镇组沉积期,随着研究区西部龙门山的强烈隆升,山前发育大套巨厚的冲积扇沉积,盆地内以河流、三角洲沉积为主,此时研究区已不受北部米仓山—大巴山造山带的影响,主要受西部龙门山造山带的影响,其砂岩特征也逐渐与龙门山前缘砂岩特征趋于一致。

总结前人研究成果与研究区侏罗系砂岩特征可以发现,整个侏罗纪时期西部的龙门山造山带处于相对较稳定的时期,持续不断地为川西地区提供稳定的碎屑物质,而随着米仓山—大巴山的不断隆升以及川东北前陆盆地的逐渐形成,来自研究区北部造山运动形成的碎屑物质逐渐增多,至沙溪庙期达到高峰,在川西地区砂岩组分上表现出突然的沉积转型。因此,川西地区与周缘造山带的形成演化具有较好的耦合关系,两者是在统一的地球动力学背景下形成的两大构造单元,周缘造山带为盆地提供物

源,而盆地造山带的物质负载提供了可容空间,所以以前陆盆地的形成、造山运动演化是盆地内砂岩碎屑组分突变的直接原因,而砂岩碎屑组分的变化也是造山带构造演化的客观表现。

## 5 结 论

(1)根据砂岩碎屑组分的空间分布特征分析,认为研究区中侏罗世沙溪庙组受到了来自西部龙门山造山带和北部米仓山—大巴山造山带的复合造山运动的共同影响。

(2)通过对川西地区单井碎屑组分垂向对比及砂岩成分成熟度分析,发现在千佛崖组与沙溪庙组界线附近,沉积物源发生了明显的变化,暗示川西地区此时发生了一次重要的沉积转型事件,这与米仓山—大巴山的构造演化密切相关。

(3)砂岩碎屑组分的变化反映盆地周缘造山带的活动:早侏罗世—中侏罗世早期,构造相对稳定,砂岩成分成熟度高;中侏罗世中晚期,在米仓山—大巴山逆冲推覆作用的影响下,砂岩成分成熟度低,且具有火山岩岩屑增多的特征;晚侏罗世早期,构造相对稳定,砂岩成分成熟度增高,至晚侏罗世晚期川西地区主要受龙门山造山带的影响,其砂岩特征与龙门山前缘砂岩特征趋于一致。

## 参考文献(References):

- [1] 刘树根,徐国盛,李巨初,等. 龙门山造山带—川西前陆盆地系统的成山成盆成藏动力学 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2003, 30(6):559-566.  
Liu Shugen, Xu Guosheng, Li Juchu, et al. A study on the dynamics of mountain-building, basin-formation and natural gas pool formation in the system of Longmen mountains and west Sichuan foreland basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2003, 30 (6):559-566 (in Chinese with English abstract).
- [2] 马雪,伊海生,夏国清. 柴达木盆地西部新生带砂岩碎屑组分变化记录的沉积转型事件[J]. 地质通报, 2010, 29(9):1294-1303.  
Ma Xue, Yi Haisheng, Xia Guoqing. Cenozoic sedimentary transformation event record by detrital components in Western Qaidam Basin, Qinghai, China [J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(9):1294-1303(in Chinese with English abstract).
- [3] 李忠,李任伟,孙枢,等. 合肥盆地南部侏罗系砂岩碎屑组分特征及物源构造属性[J]. 岩石学报, 1999, 15(3):438-444.  
Li Zhong, Li Renwei, Sun Shu, et al. Detrital composition and provenance tectonic attributes of Jurassic sandstones, south Hefei basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(3):438-444 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李双建,王清晨,李忠,等. 砂岩碎屑组份变化对库车拗陷和南天山山演化的指示[J]. 地质科学, 2006, 41(3):465-478.  
Li Shuangjian, Wang Qingchen, Li Zhong, et al. Detrital modes of sandstones and their implications for basin-mountain evolution between the Kuqa depression and South Tianshan Mountains [J]. Chinese Journal of Geology, 2006, 41 (3):465-478 (in Chinese with English abstract).
- [5] 李忠,王道轩,林伟,等. 库车拗陷中—新生界碎屑组分对物源类型及其构造属性的指示[J]. 岩石学报, 2004, 20(3):655-666.  
Li Zhong, Wang Daoxuan, Lin Wei, et al. Mesozoic-Cenozoic clastic composition in Kuqa depression, northwest China: Implication for provenance types and tectonic attributes [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(3):655-666 (in Chinese with English abstract).
- [6] 于兴河,王德发,郑浚茂. 华北地区二叠系砂岩成分与构造背景关系的探讨[J]. 现代地质, 1994, 8(3):299-307.  
Yu Xinghe, Wang Defa, Zeng Jinmao. Discussion on relationship between Permian sandstones clastic components and its tectonic settings [J]. Geoscience, 1994, 8(3):299-307(in Chinese with English abstract).
- [7] 张岳桥,董树文,李建华,等. 中生代多向挤压构造作用与四川盆地的形成和改造[J]. 中国地质, 2011, 38(2):233-250.  
Zhang Yueqiao, Dong Shuwen, Li Jianhua, et al. Mesozoic multi-directional compressional tectonics and formation-reformation of Sichuan basin [J]. Geology in China, 2011, 38 (2):233-250 (in Chinese with English abstract).
- [8] 刘树根. 龙门山冲断带与川西前陆盆地的形成演化[M]. 成都:成都科技大学出版社, 1993:17-117.  
Liu Shugen. The formation and Evolution of Longmenshan thrust zone and Western Sichuan, China [M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology, 1993:17-117 (in Chinese with English abstract).
- [9] 雍自全,刘庆松,李倩. 川西前路盆地的发展演化、地层充填及其对油气成藏的意义[J]. 天然气工业, 2008, 28(2):26-30.  
Yong Ziquan, Liu Qingsong, Li Qian. Evolution and sediment filling of western Sichuan foreland basin and their significance of hydrocarbon accumulation [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(2):26-30 (in Chinese with English abstract).
- [10] 郭正吾,邓康龄,韩永辉,等. 四川盆地形成与演化 [M]. 北京:地质出版社, 1996:1-275.  
Guo Zhengwu, Deng Kanglin, Han Yonghui, et al. Formation and Development of Sichuan Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996:1-275(in Chinese with English abstract).
- [11] 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).
- [12] 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 Zecheng, Zhao Wenzhi, Zhang Lin, et al. Tectonic Stratigraphy and Natural Gas Exploration in Sichuan Basin [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2002:1-287(in Chinese with English abstract).
- [13] 刘树根,李志武,刘顺,等.大巴山前陆盆地-冲断带的形成与演化[M].北京:地质出版社,2006:202-209.
- Liu Shugen, Li Zhiwu, Liu Shun, et al. Formation and Evolution of Dabashan Foreland Basin and Fold-and-thrust Belt, Sichuan, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006:202-209 (in Chinese with English abstract).
- [14] 陈竹新,贾东,魏国齐,等.川西前陆盆地-新生代沉积迁移与构造转换[J].中国地质,2008,35(3):472-481.
- Chen Zhuxin, Jia Dong, Wei Guoqi, et al. Meso-Cenozoic sediment transport and tectonic transition in the western Sichuan foreland basin [J]. Geology in China, 2008, 35 (3):472-481(in Chinese with English abstract).
- [15] 任纪舜,王作勋,陈炳蔚,等.从全球看中国大地构造-中国及邻区大地构造图简要说明[M].北京:地质出版社,1999:1-50.
- Ren Jishun, Wang Zuoxun, Chen Bingwei, et al. The tectonics of China from a Global View——A Guide to the Tectonic Map of China and Adjacent Regions [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1999:1-50(in Chinese with English abstract).
- [16] 王永标,徐海军.四川盆地侏罗纪至早白垩世沉积旋回与构造隆升的关系[J].地球科学——中国地质大学学报,2001,26(3):241-246.
- Wang Yongbiao, Xu Haijun. Relations between evolution of sedimentary cycles and tectonic uplift around Sichuan basin from Jurassic to early Cretaceous [J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(3):241-246(in Chinese with English abstract).
- [17] 胡晓强,陈洪德,纪相田,等.川西前陆盆地侏罗系三角洲沉积体系与沉积模式[J].石油实验地质,2005,27(3):226-237.
- Hu Xiaoqiang, Cheng Hongde, Ji Xiangtian, et al. The Jurassic delta deposit system tract and sedimentation model in the West Sichuan Foreland Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(3):226-237(in Chinese with English abstract).
- [18] 陈洪德,徐胜林.川西地区晚侏罗世蓬莱镇期构造隆升的沉积响应[J].成都理工大学学报,2010,37(4):353-358.
- Chen Hongde, Xu Shenglin. Depositional response to the tectonic uplift during the Late Jurassic Penglaizhen Stage in West Sichuan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2010, 37 (4):353-358 (in Chinese with English abstract).
- [19] 朱志军,陈洪德,胡晓强,等.川西前陆盆地侏罗纪层序地层格架、沉积体系配置及演化[J].沉积学报,2010,28(3):451-461.
- Zhu Zhijun, Chen Hongde, Hu Xiaoqiang, et al. Framework of Sequence Stratigraphy, Sedimentary System and Evolution of Jurassic in Western Sichuan Foreland Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28 (3):451-461 (in Chinese with English abstract).
- [20] 徐胜林,侯明才,林良彪,等.川西前陆盆地侏罗纪构造层序地层格架内沉积充填特征[J].岩石学报.2011.27(8):2327-2338.
- Xu Shenglin, Hou Mingcai, Lin Liangbiao, et al. Depositional characteristics within tectonic sequence of Jurassic,western Sichuan foreland basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(8):2327-2338 (in Chinese with English abstract).
- [21] 童崇光.四川盆地构造演化与油气聚集[M].北京:地质出版社,1992:102-112.
- Tong Chongguang. Evolution and Oil and Gas Accumulation in Sichuan Basin [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1992:102-112(in Chinese with English abstract).
- [22] 马永生,陈洪德,王国力,等.中国南方层序地层与古地理[M].北京:科学出版社,2009:379-476.
- Ma Yongsheng, Cheng Hongde, Wang Guoli, et al. Sequence Stratigraphy and Ancient Geography in Southern China[M]. Beijing: Science Press, 2009:379-476(in Chinese with English abstract).
- [23] 王亮国,余福林,邓康龄,等.川西坳陷侏罗系沉积环境[J].油气地质与采收率,2001,8(6):13-16.
- Wang Lianguo, Yu Fulin, Deng Kanglin, et al. The sedimentary environment of Jurassic depression in West Sichuan [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001, 8(6):13-16 (in Chinese with English abstract).
- [24] 四川省地质局.1:20万阆中幅地质图[M].1980.
- Geological Bureau of Sichuan Province. 1:200000 Langzhong Geological Map[M]. 1980(in Chinese with English abstract).
- [25] 马立元,周总瑛.川西坳陷中段上三叠统须家河组天然气资源潜力分析[J].天然气地球科学,2009,20(5):730-737.
- Ma Liyuan, Zhou Zongying. Analysis of natural gas resource potentiality for Upper Tertiary Xujiahe Formation in the middle part of west Sichuan depression [J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(5):730-737 (in Chinese with English abstract).
- [26] Dickinson W R. Provenance and sediment dispersal in relation to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basins [C]// New Perspectives in Basin Analysis. Berlin: Springer-Verlag, 1988:3-26.
- [27] Dickinson W R, Suczek C A. Plate tectonics and sandstone compositions [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin[J]. 1979. 63(12):2164-2182.
- [28] 陈衍景.秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用[J].中国地质,2010,37(4):854-865.
- Chen Yanjing. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, Central China [J]. Geology in China, 2010, 37(4): 854-865 (in Chinese with English abstract).
- [29] 张本仁,高山,张宏飞,等.秦岭造山带地球化学[M].北京:科学出版社,2002:1-188.
- Zhang Benren, Gao Shan, Zhang Hongfei, et al. Geochemistry of the QinLing Orogenic Belt [M]. Beijing:Science Press, 2002:1-188 (in Chinese with English abstract).
- [30] 张国伟,张本仁,袁学诚,等.秦岭造山带与大陆动力学[M].北京:科学出版社,2001:20-400.
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and Continent Dynamics[M]. Beijing:Science Press,

2001:20-400(in Chinese with English abstract).

- [31] 李瑞保, 裴先治, 刘战庆, 等. 大巴山及川东北前陆盆地盆山物质耦合—来自 La-ICP-Ms 碎屑锆石 U-Pb 年代学证据[J]. 地质学报, 2010, 84(8):1118-1134.

Li Ruibao, Pei Xianzhi, Liu Zhanqing, et al. Basin-Mountain coupling relationship of foreland basins between Dabashan and northeastern Sichuan—the Evidence from La-ICP-Ms U-Pb Dating of the Detrital Zircons [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84 (8):1118-1134 (in Chinese with English abstract).

- [32] 郭战峰, 梁西文. 东秦岭—大别造山带南侧中生代砂岩碎屑组分及其构造意义 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2006, 36(5): 787-792.

Guo Zhanfeng, Liang Xiwen. Detrital composition and their tectonic significance of the Mesozoic Sandstones at the Southern Margin of the Eastern Qinling and Dabie Orogenic Belt[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36 (5):787-792

(in Chinese with English abstract).

- [33] 刘云生, 郭战峰, 梁西文, 等. 中上扬子地区晚三叠世—侏罗纪砂岩构造意义及盆山耦合关系 [J]. 石油实验地质, 2006, 28(3): 201-205.

Liu Yunsheng, Guo Zhanfeng, Liang Xiwen, et al. Tectonic significance of sandstones and coupling relation of Basin and Mountain in the Late Triassic Jurassic in the Middle and Upper Yangtze region[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(3): 201-205 (in Chinese with English abstract).

- [34] 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 & Experiment, 2006, 28 (6):511-517 (in Chinese with English abstract).

## Jurassic sedimentary transformation event recorded by detrital components in the middle part of western Sichuan

QIAN Li-jun, ZHANG Cheng-gong, CHEN Hong-de,  
LIN Liang-biao, XU Sheng-lin, OU Li-hua, ZHANG Xi-hua

(Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

**Abstract:** Sandstone is the direct record of mountain uplift in the basin, and its detrital components have a good effect in analyzing orogenic belts and tectonic setting of sedimentary provenances. Jurassic sediments were systematically investigated with four main methods, i.e., features comparison in detrital components, vertical evolution characteristics of detrital components in single well, Dickinson chart and evolution characteristics between  $Q/(F+L)$  and  $F/L$  of component maturity. Some conclusions have been reached: (1) On the basis of spatial distribution features of the detrital components of sandstones, the authors believe that the middle Jurassic Shaximiao Formation in the study area was effected by the western Longmenshan orogenic belt and the northern Micang-Daba orogenic belt simultaneously. (2) According to the vertical correlation of the detrital components and the analysis of compositional maturity of sandstones in a single well, the authors have found that near the boundary between Qianfoya Formation and Shaximiao Formation, the provenance had a significant change, suggesting that there existed an important sedimentary transformation event in western Sichuan area at that time, which was closely connected with the tectonic evolution of Micang-Daba Mountain. (3) The detrital components of sandstones reflect the activity of the orogenic belts around the basin. With relatively stable structures, sandstones had a high compositional maturity from the early Jurassic to the middle Jurassic. In middle and late Middle Jurassic, due to the influence of the thrusting of the Micang-Daba Mountain, sandstones showed a low compositional maturity, and volcanic detritus increased. In the early Late Jurassic, the structures got relatively stable, and the compositional maturity of sandstones increased. Towards the late Late Jurassic, due to the influence of the Longmenshan orogenic belt in western Sichuan, the feature of sandstones became similar to that of the front sandstones in Longmenshan area.

**Key words:** middle part of western Sichuan; Jurassic; detrital components; tectonic evolution

**About the first author:** QIAN Li-jun, born in 1985, doctor candidate, majors in sedimentology; E-mail: qlj0321@163.com.