

川西坳陷中段上三叠统须家河组砂岩特征及物源分析

刘 焕¹ 彭 军² 李丽娟³ 罗文军² 肖 艳²

(1.河南油田石油物探技术研究院,河南 南阳 473132;2.西南石油大学资源与环境学院,四川 成都 610500;
3.河南油田石油勘探开发研究院,河南 南阳 473132)

摘要:通过薄片鉴定、扫描电镜、阴极发光和 X-衍射等技术手段,研究了川西坳陷中段上三叠统须家河组砂岩的物质成分及结构特征,分析了砂岩的成分成熟度和结构成熟度,并按成分-成因分类方法划分了砂岩的岩石类型。利用 Dickinson 三角图分析砂岩组分得知研究区的多物源特征;重矿物组合及石英阴极发光颜色反映大邑地区须二和须三时期母岩类型为酸性岩浆岩,须四时期母岩类型为沉积岩,而丰谷—鸭子河地区须家河时期母岩类型以沉积岩和变质岩为主。综合分析研究区须二时期物源主要来自于龙门山隆起北段、南段岛链以及康滇古陆;须三时期继承了须二时期物源方向;须四时期及其后物源来自隆起的龙门山古陆。在物源分析的基础上,结合龙门山的造山运动,分析了研究区须家河组时期的沉积演化特征。

关键词:砂岩特征;物源分析;须家河组;川西坳陷中段;龙门山

中图分类号:P534.51 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2012)05-1271-09

1 引 言

陆源碎屑源于物源区的母岩,并构成沉积盆地内砂岩的骨架,砂岩的储集性能与陆源碎屑成分相关^[1],物源研究对于油气资源预测具有重要意义。同时,物源研究有助于建立源区和沉积区的关系,确定盆地沉积时的盆山体系和岩相古地理格局,为盆地性质和演化提供重要依据^[2,3]。因此,研究沉积盆地内物源方向有极其重要的意义。

前人对川西坳陷中段上三叠统须家河组物源方向有大量研究,对须四段物源认识基本一致,认为主要来自龙门山古陆^[4];但对须二段物源方向争议很大,大部分学者认为主要来自东南部的川中古陆^[5-9],也有学者认为来自康滇古陆或龙门山岛链^[10]。本次通过对几十口钻井 3359 块岩石薄片的统计分析,总结了研究区上三叠统须家河组砂岩岩石学特征,并从砂岩组分特征、碎屑组分特征、重矿物组合特征、区域

构造演化背景等方面出发,采用宏观与微观相结合,对研究区物源方向进行初步探讨。

2 地质背景

川西坳陷位于龙门山脉与龙泉山脉所限定的四川盆地西部,北至米仓山前缘,南以峨眉—荥经断裂与川滇南北构造带为界,从北至南分为北、中、南 3 段。其中段是指安县—绵阳以南,大邑—龙泉驿以北,西起龙门山前缘,东至丰谷、中江一线的大片范围。该区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、梓潼凹陷、孝泉—丰谷构造带及成都凹陷带,东南段为南北向的知新场—大宝梁断褶带(图 1)^[11]。研究区须家河组厚数百米至近千米,岩性为深灰色砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩和泥岩夹煤层,自下而上可划分为须二段至须五段($T_3x^2-T_3x^5$)4 个岩性段,其中须二段和须四段以砂岩为主,由砂岩与泥岩组成以砂岩

收稿日期:2012-02-13;改回日期:2012-05-18

基金项目:中国石油科技创新基金项目(2010D-5006-0103)资助。

作者简介:刘焕,男,1983 年生,硕士生,主要从事储层地质学、沉积学研究;E-mail:lhainbow_1981@yahoo.com.cn。

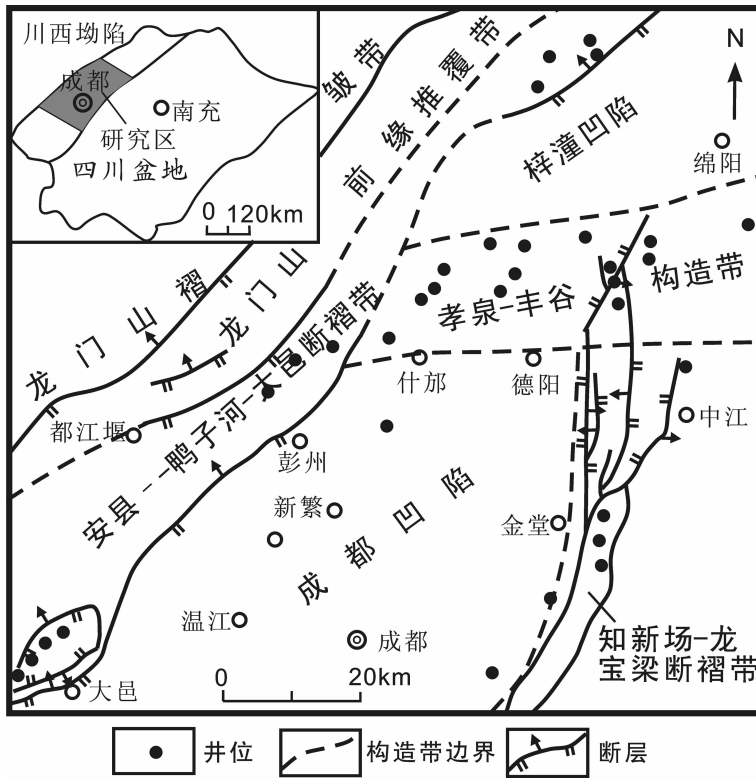


图1 川西坳陷中段构造分区示意图

Fig.1 Sketch map showing tectonic divisions in the middle area of West Sichuan depression

为主的不等厚韵律层，为储层主要发育层位，须三段、须五段以湖泊-沼泽相暗色泥岩为主，为烃源岩和区域性盖层发育层位。

3 须家河组沉积特征

3.1 砂岩岩石学特征

3.1.1 砂岩的物质成分特征

(1) 碎屑颗粒成分特征

碎屑颗粒含量一般为 70%~90%，平均约 84.1%，少数砂岩中碎屑颗粒含量最低至 52%。各沉积单元中砂岩的砂粒端元成分种类和特点没有多大差别，但相对含量差别明显。

石英端元(Q)含量最低为 9%，最高为 95%，平均约为 58.3%，以单晶石英为主，多晶石英含量少。显微镜及扫描电镜下石英表面较干净，多具有微细裂纹及波状消光，石英颗粒次生加大边发育，通常为 I-II 级，部分发育 III 级次生加大边。长石端元(F)含量平均约为 5.1%，其中斜长石含量略高，次为钾长石，镜下可见长石弱-中等绢云母化，长石被溶蚀现象发育。镜下常见具纺锤状格子双晶的微斜长石，

紧密交错、宽窄不一，以及呈聚片双晶的斜长石，更长石一般为新鲜未蚀变。岩屑端元(R)含量为 2%~89%，平均约为 20.7%，大部分样品含量为 5%~32%。变质岩岩屑主要以千枚岩、石英岩、片岩为主；在压实作用强烈区域，千枚岩岩屑常变形且略具定向排列；石英岩岩屑、石英片岩岩屑呈细小鳞片状变晶结构，矿物可见明显定向排列。沉积岩岩屑主要以粉砂岩岩屑、硅质岩岩屑、碳酸盐岩岩屑和泥页岩岩屑为主，可见少量塑性的、盆内成因的泥质岩岩屑，压实后嵌入孔隙中形成假杂基。岩浆岩岩屑主要为喷出岩岩屑，以及少量花岗岩岩屑。

绝大多数砂岩都含有 1%~3%的云母碎屑，主要以白云母为主，少量黑云母。云母碎屑受压实作用的影响，多呈波状弯曲，局部可见断裂。重矿物分布较为普遍，含量为 0~0.5%，局部可达 2%，以锆石、榍石和绿帘石为主，偶见电气石和金属矿物。绿帘石呈集合体或粒状产出，榍石呈集合体产出，部分与绿帘石伴生。

根据砂岩成分成熟度的计算方法^[2]，可知大部分砂岩的成分成熟度低至中等，Q/(F+R) 比值一般

表 1 砂岩的 Q/(F+R) 值
Table 1 Q/(F+R) ratio of sandstone

层段	大邑地区			鸭子河地区			丰谷地区		
	样品数/个	范围	平均数	样品数/个	范围	平均数	样品数/个	范围	平均数
T _{3x} ⁵	30	0.61~4.31	1.64	—	—	—	—	—	—
T _{3x} ⁴	200	0.18~5.42	1.50	269	0.08~14.65	2.88	436	0.01~7	1.53
T _{3x} ³	768	0.2~7.6	2.79	217	0.30~14.8	3.25	26	1.11~3.72	2.35
T _{3x} ²	533	1.1~15.6	3.73	478	0.72~19	3.51	402	0.31~12	3.64

为 0.2~3.94 (表 1)。从各区域的情况来看,须家河组二段砂岩成分成熟度最高(中等至较高),纵向上向上逐渐降低,至须家河组四段成分成熟度最低。平面上,大邑地区和鸭子河地区须家河组各段较丰谷地区成分成熟高。

(2) 填隙物成分特征

泥质杂基含量较少,平均为 1.42%。镜下观察表明泥质杂基含量与颗粒粒度及水动力条件有着密切的关系:粗粒砂岩(粒度 1 mm 左右)中泥质杂基含量很少,中-细粒砂岩中杂基含量较高。粘土矿物胶结物含量为 0~36%,平均 3.1%。X-衍射结果表明,粘土矿物以伊利石为主,扫描电镜下伊利石呈纤维状、针状、毛发状和片状,多充填孔隙或呈桥接式,部分呈薄的孔隙衬里(或颗粒包膜)的形式存在。显微镜下可见伊利石对石英颗粒和石英加大边不同程度的交代现象,常见伊利石充填于颗粒破裂缝、溶孔及长石解理缝和双晶缝中。伊利石常与伊/蒙混层、绿泥石、自生石英共生。高岭石含量较少,晶形普遍较好,多呈片状集合而成的书页状、蠕虫状等充填于粒间孔隙中,晶间孔较发育,少量被沥青填充。自生绿泥石主要的赋存状态是作为孔隙衬里方式产出,这种环边绿泥石在显微镜下通常呈纤维状、垂直颗粒表面生长,且近于等厚。碳酸盐胶结物含量在 0~45%,平均含量为 6.48%,主要为方解石、白云石,少量铁方解石、铁白云石,呈孔隙充填及交代颗粒形式产出,含量极不均一。硅质胶结物含量很少但较为普遍,主要呈两种形式产出:一为石英的次生加大边;二为粒间自生石英,呈细小自形或他形粒状。

3.1.2 砂岩的结构特征

(1) 碎屑颗粒结构:砂岩以中粒结构为主,含量 60.3%,次为细粒结构,含量 24.5%,另有少量不等粒结构和粗粒结构。颗粒磨圆度以次棱角状为主,含量为 70.3%,其次为次棱角-次圆状和次圆状,分别占

11.0%和 7.6%。颗粒分选性总体上以好和中等为主,分别为 52.2%和 41.3%。胶结类型主要呈孔隙-接触式胶结,占总胶结类型的 33.0%,其次为接触式胶结和压结式胶结,分别为 25.6%和 17.7%。颗粒间以点-线接触为主,凹凸接触及缝合线接触次之。

(2) 填隙物结构:包括杂基结构和胶结物结构。

杂基成分具明显的重结晶,多呈显微鳞片结构,属正杂基。胶结物结构:绿泥石呈薄膜状结构,方解石胶结物呈晶粒结构和连生结构,石英胶结物呈次生加大结构。

根据砂岩结构成熟度的判别标志^[13],即岩石中粘土杂基含量、碎屑颗粒分选性和磨圆度可知,砂岩的结构成熟度中等-成熟;各层段的结构成熟度略有不同,须二段结构成熟度最高,主要为分选较好,磨圆中等的石英砂岩和岩屑石英砂岩;须四段结构成熟度相当低,主要为分选中等,磨圆中等的岩屑砂岩和岩屑石英砂岩。

3.1.3 砂岩类型划分

采用赵澄林的砂岩分类方法^[13],将砂岩划分成以下类型(表 2)。样品以净砂岩为主,占砂岩总量的 99.4%,分布较广的是岩屑质石英砂岩、长石岩屑质石英砂岩和岩屑砂岩。须家河组二段以岩屑质石英砂岩和长石岩屑质石英砂岩为主,三段以长石岩屑质石英砂岩和岩屑砂岩为主,四段和五段都以岩屑砂岩为主。

3.2 砂岩组分分析

将川西坳陷中段大邑地区、鸭子河地区和丰谷地区须家河组的各碎屑组分数据投点到 Dickinson (1983)^[14]QFL 及 Q_mFL_t 三角图上,对研究区物源区的构造背景进行判别和分析(图 2)。

(1) 须二段

从 QFL 三角图中可知,大邑地区砂岩投点部分落在克拉通内部,大部分落在再旋回造山带,而鸭子

表 2 砂岩类型及含量
Table 2 Type and content of sandstone

层段	石英砂岩/%	长石质石英砂岩/%	岩屑质石英砂岩/%	长石岩屑质石英砂岩/%	长石质岩屑砂岩/%	岩屑砂岩/%
T _{3x} ⁵	-	-	6.7	100	-	83.3
T _{3x} ⁴	14	12	12.0	12.3	1.8	71.2
T _{3x} ³	13	23.4	13.6	38.1	1.0	22.7
T _{3x} ²	3.6	15.5	34.5	26.0	1.2	19.2

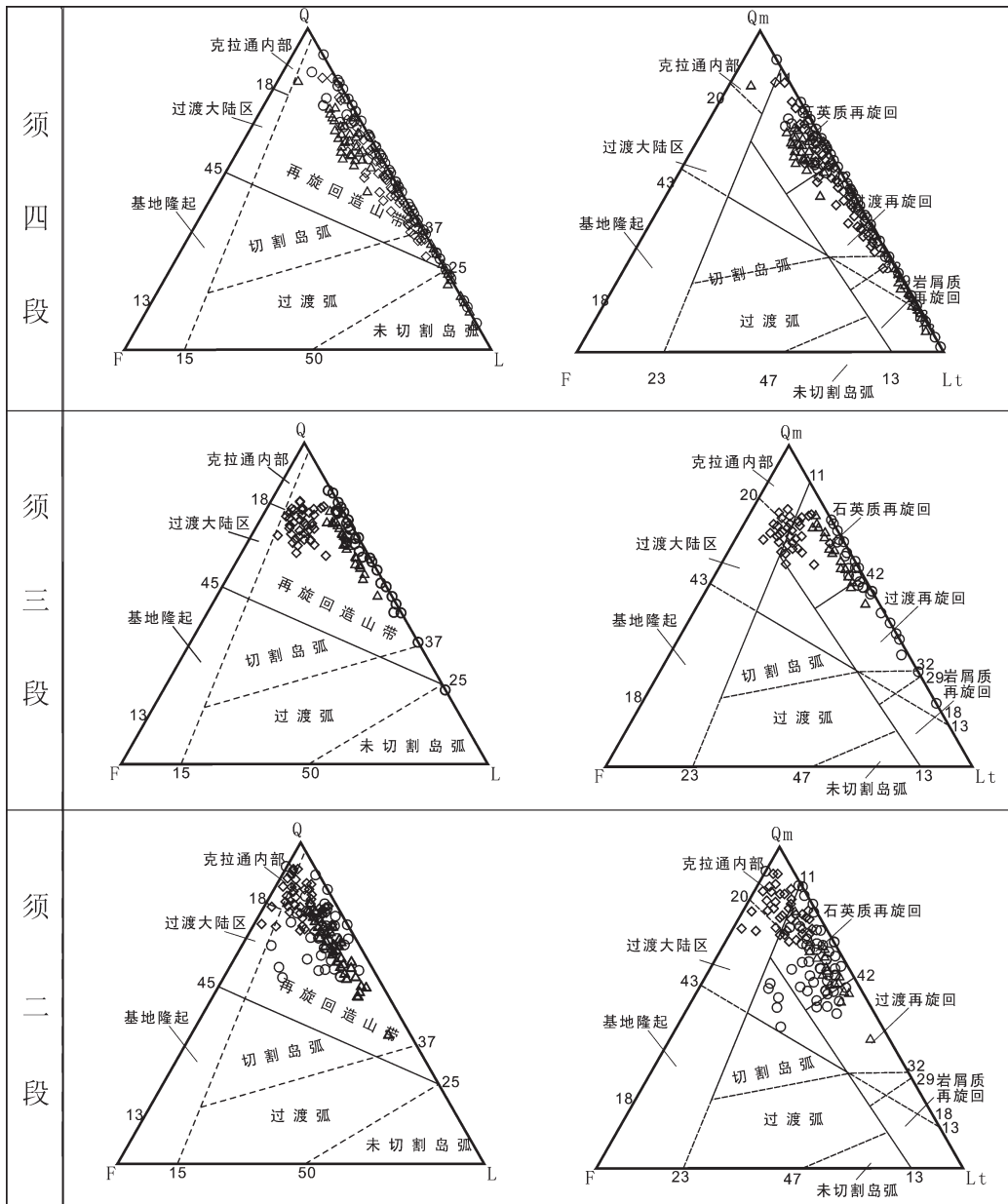


图 2 须家河组砂岩碎屑成分的 QFL、QmFLt 三角图

Q_m—单晶石英; Q_p—多晶石英; P—斜长石; K—钾长石; L_m—变质岩岩屑; L_v—沉积岩岩屑; L_i—火成岩岩屑; Q (石英总量)=Q_m + Q_p;
F (长石总量)=P+K; L=L_v+L_i+L_m; Lt=L+Q_p ◇—大邑地区; ○—鸭子河地区; △—丰谷地区

Fig.2 QFL and QmFLt triangular diagrams of Xujiache Formation

Q_m—Single crystal quartz; Q_p—Polycrystalline quartz; P—Plagioclase; K—Potassic feldspar; L_m—Metamorphic rock fragment; L_v—Sedimentary rock fragment; L_i—Igneous rock fragment; Q (quartz total volume)=Q_m + Q_p; F (feldspar total volume)=P+K; L=L_v+L_i+L_m; Lt=L+Q_p
◇—Dayi; ○—Yazihe; △—Fenggu

河地区和丰谷地区都落在再旋回造山带;从 Q_mFL_t 三角图中可知,大邑地区砂岩投点大部分落在克拉通内部,小部分落在石英质再旋回区域,鸭子河地区和丰谷地区砂岩投点主要落入石英质再旋回,少量落在过渡再旋回区域。

(2) 须三段

从 QFL 三角图中可知,研究区砂岩投点几乎都落于再旋回造山带中;从 Q_mFL_t 三角图中可知,大邑地区砂岩投点主要落入克拉通内部和石英质再旋回区域,鸭子河和丰谷地区砂岩投点主要落在石英质再旋回和过渡再旋回区域。

(3) 须四段

从 QFL 三角图中可知,研究区砂岩投点大部分落于再旋回造山带中,少量落在未切割岛弧中;从 Q_mFL_t 三角图中可知,大邑地区砂岩投点主要落入石英质再旋回和过渡大陆区域,鸭子河地区主要落在石英质再旋回和过渡再旋回区域,少量落在岩屑质再旋回区域,丰谷地区主要落在石英质再旋回和岩屑质再旋回区域。

3.3 重矿物组合特征

根据重矿物含量、组合特征及其在平面上的展布可以推断母岩类型及物源方向。本次研究利用薄片鉴定成果,对须二段-须四段储层的重矿物含量分别进行了统计分析。

大邑地区重矿物组合为锆石、电气石、榍石、绿帘石(表 3)。其中,须二段与须三段各类重矿物含量比较接近,与须四段相比须二段和须三段榍石含量相对较高。表明大邑地区须二段与须三段母岩类型为酸性岩浆岩,须四时期锆石和电气石含量明显增加,榍石含量明显降低,母岩类型由岩浆岩过渡为沉积岩。

鸭子河和丰谷地区重矿物种类较多,重矿物组

合类型有三种:第一种为锆石、电气石、白钛矿、重晶石组合,对应的母岩为沉积岩;第二种为磁铁矿、橄榄石、尖晶石、榍石、磷灰石、黄铁矿组合,对应的母岩为岩浆岩;第三种为石榴石和绿帘石组合,对应的母岩为变质岩(表 3)。须二段以第一种组合为主,即母岩类型为沉积岩;须三段与须二段重矿物组合类型相似;须四段重矿物以第一种组合和第三种组合为主,即物源区母岩以沉积岩和变质岩为主,岩浆岩很少。

3.4 石英阴极发光特征

碎屑岩矿物组分的阴极发光特征是研究陆源碎屑母岩性质的重要方法之一,特别是石英的阴极发光颜色已成为判断物源和母岩性质的重要手段。

通过对大邑地区多口井的石英阴极发光特征分析(图 3),须二段石英阴极发光主要显蓝紫色、紫红色、蓝色、紫色(图 3-1),可见石英主要为高温快速冷却的火山岩、深成岩(主要是花岗岩)来源。须三段石英的阴极发光呈蓝色、蓝紫色(图 3-2),石英的来源与须二段一致。须四段石英的阴极发光呈暗蓝色和暗褐色(图 3-3),石英的来源为低级或高级变质岩以及沉积岩。

丰谷地区石英阴极发光颜色为暗蓝色、暗褐色、红褐色和暗红色,须二段和须四段差别不明显(表 4),可见石英主要为低级或高级变质岩以及沉积岩。

4 物源讨论

4.1 物源方向

前人研究表明^[9,15-16],龙门山造山带具有分段-分带性构造格局的重要特点,受印支运动的影响,北段于小塘子期开始隆升,向盆地供源,而此时南段地区尚未真正露出水面,仅发育岛链。研究区处于龙门山中段,从 QFL 三角图和 Q_mFL_t 三角图上可以明显

表 3 重矿物含量统计/%
Table 3 Statistics of content of heavy minerals

层段	大邑地区				丰谷-鸭子河地区		
	锆石	电气石	榍石	绿帘石	组合一*	组合二*	组合三*
须四段	63	21	6	10	43	21	36
须三段	46	13	24	17	46	24	30
须二段	46	13	26	15	50	33	17

注:组合一:锆石、电气石、白钛矿、重晶石组合;组合二:磁铁矿、橄榄石、尖晶石、榍石、磷灰石和黄铁矿组合;组合三:石榴石和绿帘石组合。

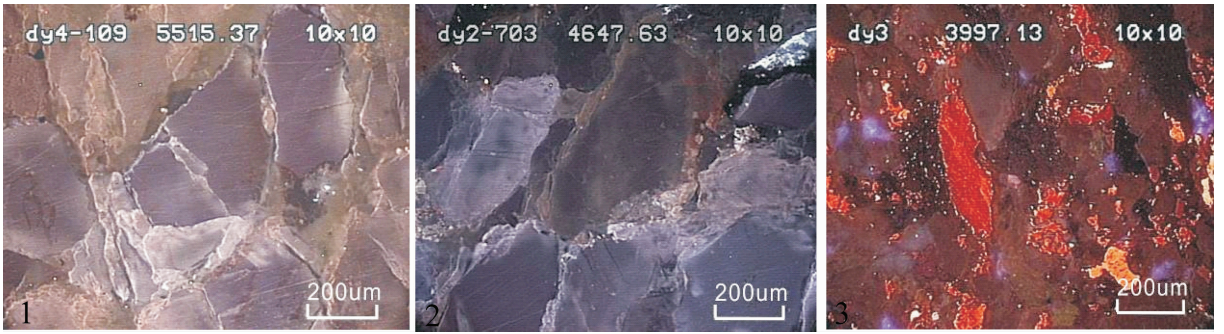


图3 大邑地区须家河组碎屑石英阴极发光照片

1—石英阴极发光呈蓝紫色,DY4井,T_{3x}²,5515.37m,CL;2—石英阴极发光呈蓝色、蓝紫色,DY2井,T_{3x}³,4647.63m,CL;
3—石英阴极发光呈红褐色,DY3井,T_{3x}⁴,3997.13m,CL

Fig.3 Cathodoluminescence images of Xujiache Formation in Dayi

1—Cathodoluminescence color of quartz (bluish violet),DY4 well,T_{3x}²,5515.37m,CL;2—Cathodoluminescence color of quartz (blue, violet),DY2 well,T_{3x}³,4647.63m,CL;3. Cathodoluminescence color of quartz (brown),DY3 well,T_{3x}⁴,3997.13m,CL

表4 丰谷地区须家河组碎屑石英阴极发光特征统计

Table 4 Statistics of characteristics of quartz cathodoluminescence images of Xujiache Formation in Fenggu

井号	井深/m	石英阴极发光特征	层位	井号	井深/m	石英阴极发光特征	层位
CF563	3434.73	蓝色	T _{3x} ⁴	CF125	4463.31	暗褐色	T _{3x} ²
CF563	3745.15	暗红色	T _{3x} ⁴	CF125	4464.87	暗褐色	T _{3x} ²
CF563	3445.15	深蓝色、暗褐色	T _{3x} ⁴	CF125	4466.06	红色、褐色	T _{3x} ²
CF175	3757.35	暗蓝色、暗褐色	T _{3x} ⁴	CF125	4467.23	红色、暗褐色	T _{3x} ²
CF175	3759.04	暗褐色、暗蓝色	T _{3x} ⁴	CF125	4468.59	暗褐色	T _{3x} ²
CF175	3761.04	暗褐色、暗蓝色	T ₃ ⁴	CF125	4472.53	暗褐色	T _{3x} ²
CF175	3762.00	暗褐色、少数发暗蓝色	T _{3x} ⁴	CF125	4474.88	红褐色	T _{3x} ²
CF175	3766.89	暗黑色	T _{3x} ⁴	CF125	3575.04	暗蓝色	T _{3x} ⁴

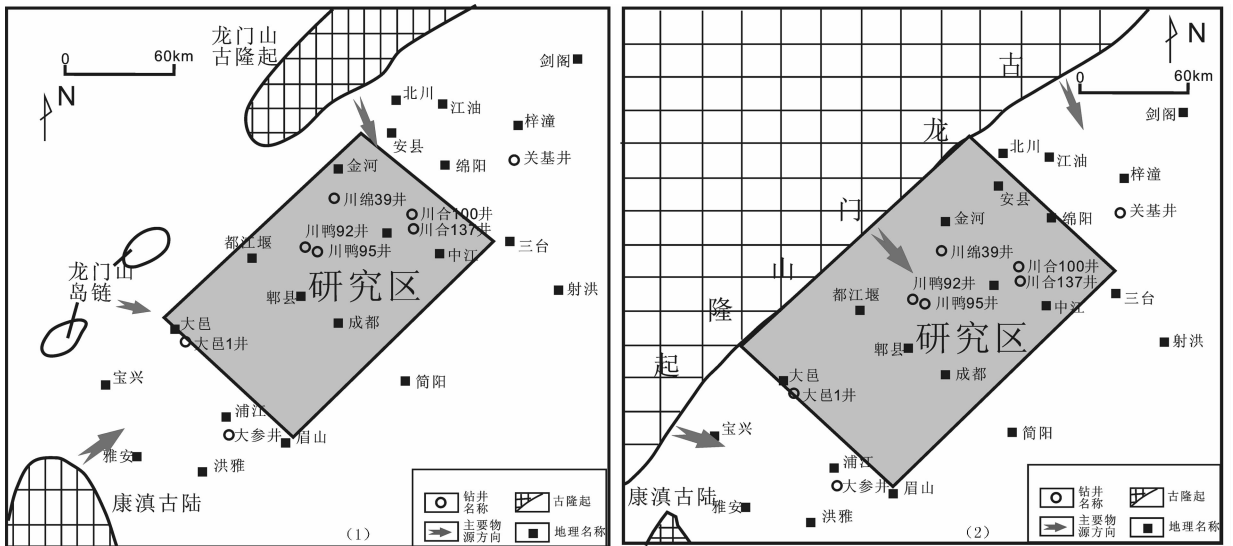


图4 川西坳陷中段须家河组物源方向

Fig.4 The provenance of Xujiache Formation in the middle part of West Sichuan depression

看出大邑地区和丰谷—鸭子河地区碎屑组分存在明显差异,反映研究区的多物源特征。

须二时期重矿物组合特征和石英阴极发光颜色表明大邑地区母岩类型主要为酸性岩浆岩,鸭子河—丰谷地区母岩类型以变质岩和沉积岩为主,结合 QFL 三角图和 Q_mFL_t 三角图分析认为龙门山逆冲带在须二期已经为川西坳陷中段提供物源,但不同地区砂岩的组分因与物源区不同而差别明显,靠近龙门山南段的大邑地区物源主要来自康滇古陆,少量来自龙门山岛链,而鸭子河地区和丰谷地区物源主要接受来自龙门山北段的摩天岭、九顶山物源(图 4-1)。

大邑地区须三时期重矿物组合特征及石英阴极发光都与须二时期没有明显差别,其 QFL 三角图和 Q_mFL_t 三角图也没有明显变化,分析认为总体继承须二时期的物源特征,即大邑地区物源主要来自康滇古陆,少量来自龙门山岛链。丰谷—鸭子河地区须三时期重矿物组合特征与须二时期类似,即物源主要来自龙门山逆冲带,但 QFL 三角图和 Q_mFL_t 三角图投点较须二时期表现出高含量的岩屑特征,表明该期龙门山构造活动加剧,龙门山不断抬升,北段部分已经褶皱成山,丰谷—鸭子河地区距离物源区较须二段近。

须四时期重矿物组合特征和石英阴极发光颜色表明研究区母岩类型主要为沉积岩,结合 QFL 三角图和 Q_mFL_t 三角图分析认为该期龙门山的逆冲推覆运动幅度进一步加大,研究区都表现为较高含量岩屑特征,大邑地区不再由康滇古陆提供物源,而由龙门山古陆为其提供;鸭子河地区和丰谷地区物源主要来自龙门山古陆,导致高含量岩屑的特征(图 4-2)。

4.2 沉积演化特征

中三叠世雷口坡期,西侧的龙门山岛链和康滇古陆相对稳定,盆地西深东浅。川东、鄂西地区为海陆过渡相,川中、川西广大地区属局限台地相。马鞍塘组沉积时期,由于印支早期运动使四川盆地东部和北部(直到秦岭地区)大面积抬升,东南部的川中古陆和北部的秦岭—大巴山古陆构成了这个时期的主要物源区。而其西侧的龙门山岛链在这个时期,分布范围有限,隆起速度较慢,地势相对平缓,且多位于水下。小塘子组沉积时期,由于松潘—甘孜地区渐趋褶皱回返,龙门山岛链范围扩大,发育了以九顶山和摩天岭为代表的一系列古隆起和新生岛屿,该时

期,来自龙门山岛链的物源明显增多,在龙门山北段和中段前缘带发育大量三角洲环境和滨岸环境沉积的砂岩^[7,17-19]。须二时期,龙门山岛链范围继续扩大,进一步隆升,前人研究表明^[20],江油厚坝青林 1 井须二段发育三层成分以碳酸盐岩为主的砾岩,中坝和大邑神仙桥须二段也见少量砾岩。钻井取心证实,大邑地区在须二段发育多套灰白色细砾岩,砾石含量为 60%~70%,成分以石英为主,少量燧石,说明龙门山局部地区的逆冲推覆作用和隆升高度已具有一定的规模,并为川西坳陷提供物源,川西坳陷中段主要接受龙门山逆冲推覆体和康滇古陆提供的物源。须三早期总体上继承了须二时期的沉积格局,其物源体系也与须二时期基本一致;须三晚期,龙门山构造运动开始活跃,其中北段和中段构造活动较为强烈,南段构造活动相对较弱,龙门山的不断推覆和抬升以及各段构造强度的差异性进一步加剧了盆地的不对称性,并导致古地貌形态发生变化,总体表现为沿龙门山走向,山体北高南低,并为研究区提供大量的物源。须四时期,在龙门山前缘带普遍发育以碳酸盐岩砾石为主的砾岩层,反映物源区与沉积盆地间的地形反差较大,是物源区强烈抬升的结果,这说明受安县运动的影响,龙门山已整体抬升成陆,并成为川西坳陷的主要物源区。须五时期整个研究区的构造背景较须四期“安静”,龙门山逆冲推覆体仍然是其主要的物源区。

5 结论

(1)川西坳陷中段须家河组分布较广的是岩屑质石英砂岩、长石岩屑质石英砂岩和岩屑砂岩,成分成熟度低至中等,岩石结构成熟度中等至成熟,须二段成熟度最高。

(2)川西坳陷中段须家河组具多物源特征,须二时期,西南方向的龙门山岛链和康滇古陆以及龙门山隆起北段都为研究区提供物源;须三时期继承了须二时的物源特征;须四、须五时期物源主要来自龙门山古陆。

参考文献(References):

- [1] 刘锐娥, 黄月明, 卫孝锋, 等. 鄂尔多斯盆地北部晚古生代物源区分析及其地质意义[J]. 矿物岩石, 2003, 23(3): 82-86.
Liu Ruie, Huang Yueing, Wei Xiaofeng, et al. Analysis of provenance of late Paleozoic in the Northern Ordos basin and its geological significance[J]. J. Mineral. Petrol., 2003, 23(3): 82-86(in

- Chinese with English abstract).
- [2] Morton A C, Hallsworth C R. Identifying provenance specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones [J]. *Sedimentary Geology*, 1994, 90(3):241-256.
- [3] Gray M B, Peter K Z. Comparison of clastic wedge provenance in the Appala chian foreland using U-Pb ages of detrital zircon [J]. *Tectonics*, 1997, 16(1):151-160.
- [4] 郭旭升. 川西地区中、晚三叠世岩相古地理演化及勘探意义 [J]. *石油与天然气地质*, 2010, 31(5):610-619.
Guo Xusheng. Litho-paleogeographic evolution in the Middle-Late Triassic in western Sichuan Province and its significance for petroleum exploration [J]. *Oil & Gas Geology*, 2010, 31(5):610-619 (in Chinese with English abstract).
- [5] 丘东洲, 李学慧, 朱德元. 四川盆地西北地区上三叠统沉积相及其与油气关系 [C]//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, 1983:141-149.
Qiu Dongzhou, Li Xuehui, Zhu Deyuan. The Upper Triassic sedimentary facies and its relations to hydrocarbon in the northwestern Sichuan Basin [C]//Editorial Committee of Petroleum Geology. Collected works of Petroleum Geology - sedimentary facies. Beijing: Geological Publishing House, 1983:141-149 (in Chinese).
- [6] 王金琪. 安县构造运动 [J]. *石油与天然气地质*, 1990, 11(2):223-224.
Wang Jinqi. Anxian tectonic movement [J]. *Oil & Gas Geology*, 1990, 11(2):223-224(in Chinese with English abstract).
- [7] 郑荣才, 戴朝成, 朱如凯, 等. 四川类前陆盆地须家河组层序—岩相古地理特征 [J]. *地质论评*, 2009, 55(4):484-495.
Zheng Rongcai, Dai Chaocheng, Zhu Rukai, et al. Sequence-based lithofacies and paleogeographic characteristics of Upper Triassic Xujiahe Formation in Sichuan Basin [J]. *Geological Review*, 2009, 55(4):484-495(in Chinese with English abstract).
- [8] 王金琪. 龙门山印支运动主幕辨析—再论安县构造运动 [J]. *四川地质学报*, 2003, 23(2):65-69.
Wang Jinqi. Recognition on the Main Episode of Indo-China movement in the Longmen Mountains—a re-review on the Anxian Tectonic Movement [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2003, 23(2):65-69(in Chinese with English abstract).
- [9] 陈洪德, 徐胜林, 林良彪, 等. 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 [J]. *沉积学报*, 2011, 29(4):622-631
Chen Hongde, Xu Shenglin, Lin Liangbiao et al. Segmental uplift of Longmenshan orogen and sequence filling characteristic of western Sichuan foreland-like basin, later Triassic [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2011, 29(4):622-631(in Chinese with English abstract).
- [10] 邓康龄. 四川盆地西部上三叠统岩相及其与油气关系的探讨 [C]//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, 1983:150-159.
Deng Kang-ling. Study of the Upper Triassic lithofacies and its relations to hydrocarbon in the western Sichuan Basin [C]//Editorial Committee of Petroleum Geology. Collected Works of Petroleum Geology -Sedimentary Facies. Beijing:Geological Publishing House, 1983:150-159(in Chinese).
- [11] 李林涛, 庞雄奇, 熊亮, 等. 运用剥蚀量恢复技术进行构造圈闭演化研究——以川西坳陷中段须家河组为例 [J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(3):441-448.
Li Lintao, Pang Xiongqi, Xiong Liang, et al. Recovery of structural trap evolution by mean of Denudation value:a case of Upper Triassic Xujiahe Formation Layer in Middle Section of West Sichuan Depression [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(3):441-448(in Chinese with English abstract).
- [12] 姜在兴. 沉积学 [M]. 北京:石油工业出版社, 2003:71.
Jiang Zaixing. *Sedimentology* [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2003:71(in Chinese).
- [13] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学 [M]. 北京:石油工业出版社, 2000, 101-103.
Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. *Sedimentary Petrology* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000:101-103(in Chinese).
- [14] Dickinson W R. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones [C]// Zuffa G G (ed.). *Provenance of Arenites*. Dordrecht: D. Reidel, NATO-ASI Series 1983, 148:333-361.
- [15] 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):40-454(in Chinese with English abstract).
- [16] 罗啸泉, 李书兵. 龙门山推覆带形成演化与油气关系探讨 [J]. *天然气技术*, 2009, 3(1):16-18
Luo Xiaoquan, Li Shubing. Discussion on forming evolution of Longmenshan Nappe Zone and its oil/gas correlation [J]. *Natural Gas Technology*, 2009, 3(1):16-18 (in Chinese with English abstract).
- [17] 林良彪, 陈洪德, 姜平, 等. 川西前陆盆地须家河组沉积相及岩相古地理演化 [J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2006, 33(4):376-383.
Lin Liangbiao, Chen Hongde, Jiang Ping, et al. Sedimentary facies and litho-paleogeographic evolution of the Upper Triassic Xujiahe Formation in West Sichuan foreland basin [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2006, 33(4):376-383(in Chinese with English abstract).
- [18] 陈杨, 赵霞飞, 刘树根, 等. 四川盆地西部海相碎屑岩—陆相碎屑岩的转换过程 [J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2009, 36(6):697-705.
Chen Yang, Zhao Xiafei, Liu Shugen et al. Transition from marine clastic rocks to nonmarine clastic rocks in the west of Sichuan Basin, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2009, 36(6):697-705(in Chinese with English abstract).
- [19] 徐胜林. 晚三叠世—侏罗纪川西前陆盆地盆山耦合过程中的沉

积充填特征[D]. 成都:成都理工大学, 2010.

Xu Shenglin. Sedimentary Filling Characteristics within Tectonic Sequence of Coupling between the Western Sichuan Foreland Basin and Longmenshan Orogenic Belt from Late Triassic to Jurassic [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2010 (in Chinese with English abstract).

[20] 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 Xujiachean period [J]. *Geology in China*, 2008, 35(2):246-255(in Chinese with English abstract).

Characteristics and provenance analysis of the Upper Tertiary Xujiache Formation sandstone in the middle part of West Sichuan depression

LIU Huan¹, PENG Jun², LI li-juan³, LUO Wen-jun², XIAO Yan²

(1. Geophysical Prospecting Institute of Henan Oilfield Company, Nanyang 473132, Henan, China; 2. College of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China; 3. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Henan Oilfield Company, Nanyang 473132, Henan, China)

Abstract: By means of thin section, SEM, quartz cathodoluminescence and X-RD analysis, the authors studied the mineral composition and texture of the Upper Tertiary Xujiache Formation sandstone in the middle part of West Sichuan depression, analyzed the composition maturity and texture maturity and, according to the scheme of genesis-composition, classified the sandstone. Based on an analysis of characteristics of sandstone and clastic components as well as the regional tectonic setting, the authors also investigated the direction of the sources. The results show that there exist multi-provenances of upper Triassic Xujiache Formation in the middle part of west Sichuan depression, as evidenced by the Dickinson discriminating diagrams of modal composition. Mineral assemblages and cathodoluminescence colors of quartz suggest that the mother rock of xu-2 and xu-3 period was acidic rock and that of xu-4 period is sedimentary rock in Dayi, the mother rock of Xujiache period is mainly composed of sedimentary rock and metamorphic rock.. The results show that the provenance of xu-2 period might have come from northern Longmenshan uplift, the south island chain of Longmenshan and Kangdian old land. The provenance of xu-3 period might be not different from that of xu-2 period. The provenance of xu-4 period and the following periods might have come from Longmenshan old land. Generally speaking, the provenance of the area was controlled by the evolution of Longmenshan.

Key words: characteristics of sandstone; provenance analysis; Xujiache Formation; Middle part of West Sichuan depression; Longmenshan

About the first author: LIU Huan, male, born in 1983, master candidate, mainly engages in the study of reservoir geology and sedimentology; E-mail: lhrainbow_1981@yahoo.com.cn.